



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA DO
ESPAÇO – PPGeo/UEMA

WELLINGTON PEREIRA DA SILVA

SOLOS E USOS DA TERRA DO MUNICÍPIO DE SANTANA DO MARANHÃO (MA)



São Luís - MA

2025

WELLINGTON PEREIRA DA SILVA

SOLOS E USOS DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SANTANA DO MARANHÃO (MA)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo, da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção da titulação de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Melina Fushimi.

São Luís - MA

2025

Silva, Wellington Pereira da

Solos e usos da terra do município de Santana do Maranhão (MA) /
Wellington Pereira da Silva, Melina Fushimi. – São Luís, MA, 2025.
208 f

Dissertação (Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do
Espaço/PPGEO-UEMA) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Melina Fushimi

1.Classificação Supervisionada. 2.Usos e cobertura da terra. 3.Solos.
4.Paisagem. 5.Santana do Maranhão. I. Título.

CDU: 631.4

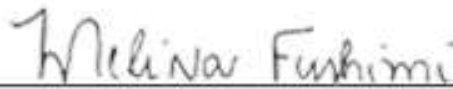
WELLINGTON PEREIRA DA SILVA

SOLOS E USOS DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SANTANA DO MARANHÃO (MA)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo, da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção da titulação de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 01 / 09 / 2025

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Melina Fushimi (Orientadora)

Doutora em Geografia
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

Doutor em Geografia
Universidade Estadual do Maranhão



Profa. Dra. Leda Correia Pedro Miyazaki

Doutora em Geografia
Universidade Federal de Uberlândia

Dedico à minha esposa Fernanda Silva e minha filha Melinna Silva em gratidão pelo apoio, incentivo e motivação durante esse período em que me ausentei de casa em busca de conhecimento e aprendizado.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela sua infinita bondade e misericórdia. À Jesus pelas bênçãos; à Maria Santíssima minha protetora, guia e copiosa intercessora e à corte celeste pela proteção e guia ao longo da minha vida e desse processo formativo.

À minha família, minha mãe Maria Raimunda Barbosa da Silva, meu pai Aldir Pereira da Silva, minha irmã Ana Lúcia Pereira da Silva, aos meus irmãos (todos os oitos) e, especialmente à minha filha Melinna Oliveira da Silva e minha Esposa Fernanda dos Santos Oliveira Silva pelo incentivo, motivação, inspiração e principais companheiras nessa jornada. Obrigado pela compreensão, motivação e incentivo. Sem vocês não teria chegado até aqui.

Ao professor Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra, da Universidade Estadual do Maranhão, pela paciência, pela contribuição imensurável nessa pesquisa, por abdicar de seus dias de folgas/descansos para acompanhar-me nos trabalhos de campo, laboratório e instruções nas atividades acadêmicas.

À minha orientadora Melina Fushimi pela paciência, orientações e por acolher o desafio de orientar-me neste trabalho fazendo-o com dedicação.

Aos meus colegas de turma do Mestrado, em especial aos meus amigos e companheiros de pesquisas de campo (equipe milharal) e laboratório: Brenda Nunes, Lucas Carvalho, Deuzanir Amorim, Letícia Rocha e Jaícia Almeida.

Ao Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Mapeamento do curso de Geografia – GEOMAP pela acolhida e suporte.

Às técnicas(o) do Laboratório Gilberlene Lisboa, Vitória Gleyce e Walefe Cruz pelo suporte na realização das análises físicas de solos no Geociências.

À Nana Alves, pelo companheirismo, paciência, carinho, conselhos e ajuda prestadas ao longo curso, além da celebre frase: “não fizeram nada mais do que a obrigação de vocês”.

E a todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo/UEMA minha eterna gratidão, em especial Professor Dr. Fernando Rodrigues Bezerra, ao Professor Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos e ao professor Dr. José Arilson Xavier de Souza, pelo companheirismo, atenção e disponibilidade.

Por fim, não poderia deixar de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio, fomento à pesquisa – pela concessão da bolsa de mestrado.

Quando os seres humanos destroem a biodiversidade na criação de Deus; quando os seres humanos comprometem a integridade da terra e contribuem para a mudança climática, desnudando a terra das suas florestas naturais ou destruindo as suas zonas húmidas; quando os seres humanos contaminam as águas, o solo, o ar tudo isso é pecado. Porque um crime contra a natureza é um crime contra nós mesmos e um pecado contra Deus (LS, 8).

(Carta Encíclica *LAUDATO SI* do **Papa Francisco**. Sobre o cuidado da Casa Comum)

RESUMO

A evolução dos estudos geográficos decorre da análise das interações entre natureza e sociedade, mediada por avanços científicos que possibilitam compreender as dinâmicas espaciais. Este estudo teve como objetivo geral analisar os solos e suas correlações com os usos da terra e a degradação ambiental no município de Santana do Maranhão (MA). Para tanto, foram investigadas as características dos solos, os processos históricos e os impactos das tecnologias de mecanização agrícola nos usos da terra. Foram coletadas 48 amostras, sendo 24 deformadas e 24 indeformadas. A descrição e caracterização dos solos foram realizadas de acordo com os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS *et al.*, 2018) e procedimentos descritos no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015). Realizou-se a classificação supervisionada para o município, através do software QGis 3.34, numa escala de 1:10.000 ao qual foram identificados os usos e coberturas da terra na área de estudo: Áreas Urbanizadas, Culturas Temporárias Pastagem, Vegetação Secundária Mista, Área Campestre, Áreas parcialmente Descobertas, Carvoaria, Solo exposto e Planície de inundação. As análises laboratoriais permitiram identificar as potencialidades e fragilidades dos solos, que se mostraram predominantemente arenosos de textura média. Quanto aos resultados das análises químicas dos solos, estes por sua vez apresentaram pH ácido (P01 – Soja, 4,8) e fortemente ácido (P05 – Pastagem, 4,1; P06 – Vegetação Densa, 3,3; P07 – Carvoaria, 3,6 e P08 – Solo exposto, 3,9). Apenas os pontos P2 (Pastagem), P3 (milho) e P4 (Milheto) apresentaram pH (> 6,0) muito baixo, ou seja, uma faixa ideal para a maioria das culturas, para que as plantas possam se desenvolver. Quanto aos teores de Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), H + Al e Alumínio (Al), os resultados mostram que os solos estudados, devido ao processo de degradação através dos usos intensos e ainda com o processo de escoamento superficial que aumentam o potencial de perdas desses nutrientes nos solos, necessitam de correções e incrementos de adubação que eleve os teores e índices necessários de macro e micronutrientes para as plantas, aumentando o potencial agrícola na área de estudo.

Palavras-chave: Usos e cobertura da terra; Solos; Paisagem; Santana do Maranhão.

ABSTRACT

The evolution of geographical studies stems from the analysis of interactions between nature and society, mediated by scientific advances that enable us to understand spatial dynamics. The overall objective of this study was to analyze soils and their correlations with land use and environmental degradation in the municipality of Santana do Maranhão (MA). To this end, soil characteristics, historical processes, and the impacts of agricultural mechanization technologies on land use were investigated. Forty-eight samples were collected, 24 of which were deformed and 24 undeformed. The description and characterization of the soils were carried out according to the criteria established by the Brazilian Soil Classification System (SANTOS et al., 2018) and procedures described in the Technical Manual of Pedology (IBGE, 2015). Supervised classification was performed for the municipality using QGIS 3.34 software on a scale of 1:10,000, identifying land use and land cover in the study area: Urbanized Areas, Temporary Crops, Pasture, Mixed Secondary Vegetation, Rural Area, Partially Uncovered Areas, Charcoal Production, Exposed Soil, and Floodplain. Laboratory analyses identified the potential and weaknesses of the soils, which were predominantly sandy with a medium texture. The results of the chemical analysis of the soils showed acidic pH (P01 – Soybean, 4.8) and strongly acidic pH (P05 – Pasture, 4.1; P06 – Dense Vegetation, 3.3; P07 – Charcoal Kiln, 3.6; and P08 – Exposed Soil, 3.9). Only points P2 (Pasture), P3 (Corn), and P4 (Millet) had very low pH (> 6.0), which is the ideal range for most crops to thrive. As for the levels of Organic Matter (OM), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), H + Al, and aluminum (Al), the results show that the soils studied, due to the degradation process through intensive use and surface runoff, which increase the potential for loss of these nutrients in the soil, require corrections and increased fertilization to raise the necessary levels and indices of macro- and micronutrients for plants, thereby increasing the agricultural potential in the study area.

Keywords: Land use and land cover; Soils; Landscape; Santana do Maranhão.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1: Mapa de Localização do município de Santana do Maranhão.....	14
Figura 2: Mapa de Localização dos pontos de coletas de solos no município de Santana do Maranhão.....	20
Figura 3: Infiltrômetro, segundo Guerra (2011).....	22
Figura 4: Infiltrômetro ilustrativo, modelo adaptado para a pesquisa.....	23
Figura 5: Infiltrômetro devidamente fixado com a régua e prendedor para o teste.....	24
Figura 6: Materiais utilizados nas análises no Laboratório	26
Figura 7: Correção da classificação supervisionada no software QGis.....	30
Figura 8: Esquema de uma definição da Teoria Geossistêmica, de acordo com o modelo proposto por Georges Bertrand.	40
Figura 9: Módulos de caracterização dos componentes de um SIG, proposto por Câmara & Davis (2006).	51
Figura 10: Ilustração de uma paisagem-tampão tendo como exemplo a mata dos cocais no estado do Maranhão.....	59
Figura 11: Domínios morfoclimáticos no estado do Maranhão, segundo Ab’Saber (2003).	60
Figura 12: Fitofisionomia de vereda com presença de palmeira do Buriti, no afluente do rio Magu, Baixão da Vereda, próximo ao povoado Vereda 3.	61
Figura 13: Expansão da monocultura no Brasil, Nordeste e Maranhão	64
Figura 14: Casas abandonadas da sede da antiga fazenda, no limite dos municípios de Santa Quitéria, São Bernardo e Santana do Maranhão, onde foram identificados os primeiros plantios de eucalipto e pinus no povoado Cantina.	66
Figura 15: Mapa de localização dos primeiros usos da terra, nas divisas dos municípios de Santa Quitéria do Maranhão, São Bernardo e Santana do Maranhão, no final da década 1960 a 1980.	67
Figura 16: Primeira carvoaria identificada no município de Santana do Maranhão (2004/2005).	71
Figura 17: Segunda carvoaria identificada no município de Santana do Maranhão de 2004/2005.	71
Figura 18: Fornos inativos da produção de carvão vegetal de 2018, no município de Santana do Maranhão.....	72
Figura 19: Fornos inativos da produção de carvão vegetal de 2019, no município de Santana do Maranhão.....	73

Figura 20: A 5ª carvoaria ao Sul do Município de Santana do Maranhão em 2023/2024	73
Figura 21: Mapa de Geologia do município de Santana do Maranhão	75
Figura 22: Caracterização geomorfológica do município de Santana do Maranhão.....	79
Figura 23: Superfícies rebaixadas no município de Santana do Maranhão.....	81
Figura 24: Mapa altimétrico do município de Santana do Maranhão	84
Figura 25: Mapa de Solos do município de Santana do Maranhão	86
Figura 26: Latossolos concrecionários lateríticos no município de Santana do Maranhão.....	91
Figura 27: Mapa de localização do alto curso do rio Magu no município de Santana do Maranhão.....	95
Figura 28: Baixão da Vereda, principal afluente do rio Magu nas mediações dos povoados Vereda 2 e Vereda 1.	96
Figura 29: Baixão da Vereda, afluente do rio Magu, nas imediações do povoado Vereda 1...96	
Figura 30: Riacho do São Domingos – afluente do rio Magu.....	97
Figura 31: Nascente do rio Magu nas mediações do povoado Cabeceira do Magu, completamente seca.....	98
Figura 32: Leito do rio Magu, próximo a nascente secundária.	98
Figura 33: Queimadas da vegetação nativa próximo às nascentes do Rio Magu.....	99
Figura 34: Placa indicativa de Área de Preservação Permanente – APP do Rio Magu (Oeste)	100
Figura 35: Placa indicativa de Área de Preservação Permanente – APP do Rio Magu (Sul) 100	
Figura 36: Mapa de classificação climática do estado do Maranhão, segundo Corrêa (2023).	102
Figura 37: Queimadas realizadas anualmente, de julho a dezembro, para renovação da pastagem.....	105
Figura 38: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) do município de Santana do Maranhão, cujo objetivo é identificar a evolução.	107
Figura 39: Mapa de uso e cobertura da terra do município de Santana do Maranhão	109
Figura 40: Bairro Centro de Santana do Maranhão, com a Av. Roseana Sarney ao fundo, rio Magu, que divide a cidade, a Av. Monsenhor Porcínio ao centro e a Igreja de Sant’Ana.	110
Figura 41: Avenida Roseana Sarney e prefeitura municipal de Santana do Maranhão	111
Figura 42: Plantio de soja na fronteira do município de Santa Quitéria do Maranhão e Santana do Maranhão.....	113

Figura 43: Área desmatada para implantação de futuro projetos sojícolas, nas mediações do povoado São Bento, município de Santana do Maranhão.....	114
Figura 44: Solo aradado para o plantio de milho após a colheita da soja, no limite dos municípios de Santa Quitéria e Santana do Maranhão.....	115
Figura 45: Plantação de milho nas mediações do povoado Riachão.	116
Figura 46: Fazenda Nutri Brasil – campo de pastagem destinados para a bovinocultura.	117
Figura 47: Vegetação secundária mista, localizada nas proximidades da nascente do Baixão da Vereda, povoado Vereda 3.	118
Figura 48: Vegetação secundária mista nas proximidades do campo de milho, nas mediações do povoado Riachão.	119
Figura 49: Vegetação de gramíneas, com arbustivos (Janagubeiras e muriciseiros) esparsos.	120
Figura 50: Área campestre com arbustivos, vegetação rasteira e ao fundo, campos de pastagem.	120
Figura 51: Áreas queimadas propositalmente deixando os solos desnudados, transformando o solo em áreas parcialmente descobertas.	121
Figura 52: Pilha de troncos de madeira de árvores destinadas para a produção de carvão vegetal.	122
Figura 53: Fornos para a produção de carvão vegetal no município de Santana do Maranhão.	123
Figura 54: Solo expostos e o processo de voçorocamento próximo ao cemitério do povoado Vereda 3, município de Santana do Maranhão. O polígono em vermelho, representa a área de solo exposto.	124
Figura 55: Campo de Soja na divisa com o município de Santa Quitéria do Maranhão.....	126
Figura 56: Pilha de troncos de árvores no município de Santana do Maranhão.	127
Figura 57: Campo de pastagem destinado para a bovinocultura.	128
Figura 58: Identificação de construções inacabadas em campo de pastagem em Santana do Maranhão.....	129
Figura 59: Campo de milho nas mediações do povoado Riachão.	130
Figura 60: Plantio de milho na divisa com o município de Barreirinha (MA).	131
Figura 61: Campo de pastagem recém desmatado e com indícios de queimadas para limpeza do terreno.....	132
Figura 62: Área de vegetação densa, próxima a nascente do Baixão da Vereda.	133
Figura 63: Fornos ativos na produção de carvão vegetal, nas proximidades da sede da fazenda Nutri Brasil.....	134

Figura 64: Maquinários utilizados na extração e transporte de madeira para a produção de carvão vegetal.....	135
Figura 65: Solo exposto e processo erosivo nas proximidades do povoado Vereda 3.	136
Figura 66: Cobertura vegetal composta por milharal e capim-colonião (P03).....	161

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Teste de infiltração realizados nos 8 pontos durante o trabalho de campo	139
Gráfico 2: Média da Densidade do solo (D_s g/cm ³), Densidade de partículas (D_p g/cm ³) e Porosidade Total (Pt%).....	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro demonstrativos dos tipos de solos identificados na literatura para o município de Santana do Maranhão	31
Quadro 2: Quadro síntese das potencialidades, fragilidades e recomendações para os solos no município de Santana do Maranhão.....	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pontos dos locais onde foram coletadas as amostras de solos durante os campos e suas respectivas coordenadas geográficas.....	19
Tabela 2: Tabela para interpretação dos atributos SB, CTC efetiva, CTC a pH 7,0 (T), V% e PST%, a partir de Sobral et al. (2015) e Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999). 28	
Tabela 3: Indústrias e suas respectivas quantidades no Maranhão em 1895.....	56
Tabela 4: Comparação da Erodibilidade entre os Neossolos Quartzarênicos e os Latossolos Amarelo.....	93
Tabela 5: Rios, Riachos e Baixões que compõem a rede hidrográfica do município de Santana do Maranhão e seus respectivos comprimentos	101
Tabela 6: Relação dos povoados do município de Santana do Maranhão.....	111
Tabela 7: Área dos usos e cobertura da terra, no município de Santana do Maranhão.....	125
Tabela 8: Teor de areia, silte e argila.....	141
Tabela 9: Variação da densidade do solo de acordo com o tipo de solo, segundo Kiehl (1979).	143
Tabela 10: Resultados das análises de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e Porosidade total (Pt%).	147
Tabela 11: Resultado das análises química do solo, <i>SB</i> , <i>CTC</i> , <i>V%</i> e <i>PST</i> , no município de Santana do Maranhão.....	149
Tabela 12: Tabela de Interpretação para o teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS), de acordo com Sobral <i>et al.</i> (2015).....	150
Tabela 13: Interpretação da acidez ativa do solo (pH), proposta por Raij <i>et al.</i> (1997).....	152
Tabela 14: Interpretação dos resultados de fósforo disponível com base na textura do solo, de acordo com Silva (2018).	153
Tabela 15: Classes de interpretação para as análises, proposta por Luz <i>et al.</i> 2002.	154
Tabela 16: Comparação entre a acidez (pH) e o índice de H (hidrogênio) no solo)	159
Tabela 17: Comparação entre o teor de matéria orgânica (MO) e o carbono (C) no solo.	161
Tabela 18: Tabela síntese para interpretação de resultados de análises químicas de solos	167

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio

Ca – Cálcio

cm – centímetro

cmol_c – Centimol de carga

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CTC – Capacidade de troca de cátions

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

g – Grama

H – Hidrogênio

ha – hectare

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K – Potássio

KCl – Cloreto de potássio

Kg – Quilograma

Mg – Magnésio

mm – Milímetro

mmol_c – milimol de carga

Mol L – Molaridade

P – Fósforo

S – Soma de bases

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	16
2.1. Geral	16
2.2. Específicos	16
3. METODOLOGIA.....	16
3.1. Levantamento bibliográfico.....	17
3.2. Trabalho de campo.....	18
3.2.1. Pontos de coleta de amostra de solos	19
3.2.2. Teste de Infiltração.....	21
3.3. Análise de laboratório	25
3.4. Elaboração de mapas temáticos	29
4. REFERENCIAL TEÓRICO	33
4.1. A Geografia na perspectiva da evolução do pensamento geográfico	33
4.2. O conceito de Geossistema na Geografia.....	36
4.3. O conceito de paisagem na Geografia.....	40
4.4. A paisagem e os usos da terra.....	43
4.5. A importância da conservação dos solos	46
4.6. O Geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) nos estudos geoambientais.....	49
5. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	54
5.1. Histórico de usos e ocupação da terra no Maranhão	54
5.2. Faixas de Transição no município de Santana Do Maranhão.....	58
5.3. Caracterização dos usos e cobertura da terra no município de Santana do Maranhão	62
5.3.1. A expansão da monocultura no Brasil, Nordeste, Maranhão e Santana do Maranhão.....	63
5.3.2. A pastagem.....	69
5.3.3. A produção de Carvão vegetal	69
5.4. Caracterização geológica, geomorfológica, pedológica, hidrográfica e climática do Município de Santana do Maranhão	74
5.4.1. Caracterização Geológica do Município de Santana do Maranhão	74
5.4.2. Caracterização Geomorfológica do Município de Santana do Maranhão (MA) ..	78
5.4.3. Caracterização pedológica da área de estudo	85

5.4.4. Caracterização Hidrográfica do município de Santana do Maranhão.....	93
5.4.5. Caracterização Climática do município de Santana do Maranhão.....	102
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
6.1. Usos e cobertura da terra no município de Santana do Maranhão	108
6.2. Pontos de análises dos usos e cobertura da terra.....	126
6.3. Teste de infiltração	137
6.4. Análises Físicas e Químicas dos solos	140
6.5. Análises Químicas de solos.....	148
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	170
REFERÊNCIAS.....	173

1. INTRODUÇÃO

Diante das intensas transformações sociais, econômicas e ambientais, marcadas pelos usos da terra, principalmente para o plantio de culturas temporárias como a soja, o milho e para áreas destinadas a pastagem, potencializadas pelo avanço das inovações tecnológicas (mecanização), as produções agrícolas em larga escala avançam para as cidades do interior, visando uma expansão de áreas agrícolas e pecuárias, que têm influenciado na transformação e na dinâmica da paisagem em diversas regiões do estado do Maranhão, especialmente nas Faixas de Transição (Ab'Saber, 2003) de fitofisionomias do Cerrado, onde localiza-se o município de Santana do Maranhão.

Assim, um dos grandes desafios da atualidade, é relacionar a preservação da natureza com desenvolvimento econômico, os quais resultam em impactos diretos e indiretos no ambiente, ocasionando a fragmentação da paisagem devido ao desmatamento, perda de habitat de espécies, degradação de solos, dentre outros.

O estudo sobre paisagem no campo da Geografia tem sido frequente nesses últimos anos, principalmente em pesquisas produzidas sob a perspectiva da Teoria Geossistêmica de Bertrand (1972). Sendo assim, o presente trabalho trata de uma revisão bibliográfica e estudo de caso sobre a aplicação da referida teoria no estudo da paisagem para o município de Santana do Maranhão.

Com bases nessas prerrogativas, buscou-se inter-relacionar os diferentes tipos de usos com a Teoria Geossistêmica. Este estudo é extremamente importante para a Geografia maranhense, devido à grande transformação espacial da paisagem na área de estudo, em decorrência do avanço das fronteiras agrícolas com o plantio de soja, milho e o desmatamento para a criação de gado e produção de carvão vegetal.

O solo constitui elemento essencial da dinâmica ambiental e é fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades humanas. Sendo assim, os solos possuem múltiplas funções no ambiente, nos quais são denominadas de “funções do solo”, onde este assume um papel importante na medição de processos-chaves da natureza, como fornecer nutrientes para as plantas e organismos, regular a água no ambiente, influenciar na saúde do ser humano e animais, dentre outros (Xavier, 2021).

Sendo assim, Oliveira, Souza e Sousa (2023, p. 245) esclarecem que “conhecer as propriedades físicas e químicas do solo, bem como os demais componentes ambientais são fundamentais para a elaboração de políticas públicas voltadas para o ordenamento do território, preservando assim as áreas mais vulneráveis”. Diante disto, Ferreira (2023, p.11) aponta que

“as investigações sobre as feições morfológicas e as características do solo refletem a atuação dos processos pedogenéticos na formação e são ferramentas essenciais para compreender sobre os atributos dos solos e sua correlação com os usos da terra”.

Desta maneira, a análise do solo e do uso e cobertura da terra são imprescindíveis para compreender a transformação da paisagem, conforme também apontam Oliveira, Souza e Sousa (2023) onde os atributos dos solos são importantes componentes para a percepção da paisagem. Para Ferreira (2023) dentre os componentes da paisagem, os solos são fundamentais para a análise do comportamento e evolução da paisagem, desde que analisados em conjunto.

Logo, o manejo inadequado do solo pode comprometer a sua potencialidade e ocasionar impactos negativos na superfície terrestre, como processos erosivos acelerados (ravinas e voçorocas) e perdas na produção agrícola. Para Guerra e Botelho (1996) os impactos ambientais ocasionados pela erosão dos solos iniciam-se com atividades ligadas ao desmatamento e consequentemente com a ocupação do solo, sem considerar os limites impostos por este e pelo relevo onde tais atividades são executadas.

Seabra e Cruz (2013) apontam que os estudos que correlacionam a caracterização da cobertura da terra e também a análise de seus diferentes usos são ferramentas que servem de compreensão para a intensidade e tipos das mudanças em determinadas áreas. O termo uso da terra está estritamente relacionado às diversas atividades humanas desenvolvidas numa determinada área de produção do espaço geográfico. Já a cobertura da terra está diretamente associada com os tipos de cobertura natural ou artificial, que pode ser registrada a partir de imagens de satélite (Araújo Filho *et al.*, 2007).

No Estado do Maranhão, as pressões de usos acontecem principalmente nas áreas correspondentes aos biomas Amazônico e Cerrado além da Faixa de Transição (Ab'Saber, 2003) localizada entres os respectivos biomas, com a expansão das atividades de agropecuária e culturas temporárias como a soja e o milho, a partir dos municípios localizados ao Sul e Norte do estado. Essas pressões se intensificaram principalmente com a criação da nova fronteira agrícola denominada de MATOPIBA¹, formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, com o desmatamento de grandes áreas do Cerrado, causando a perda de matas ciliares, infertilidade do solo pelo uso de agrotóxicos, impactos nas populações locais, conflitos territoriais e alterações no microclima.

De acordo com Miranda *et al.* (2014) a ocupação caracterizou-se inicialmente, por um uso agropecuário das terras de baixa produtividade, tanto no caso dos pequenos agricultores,

¹ MATOPIBA é um acrônimo criado com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

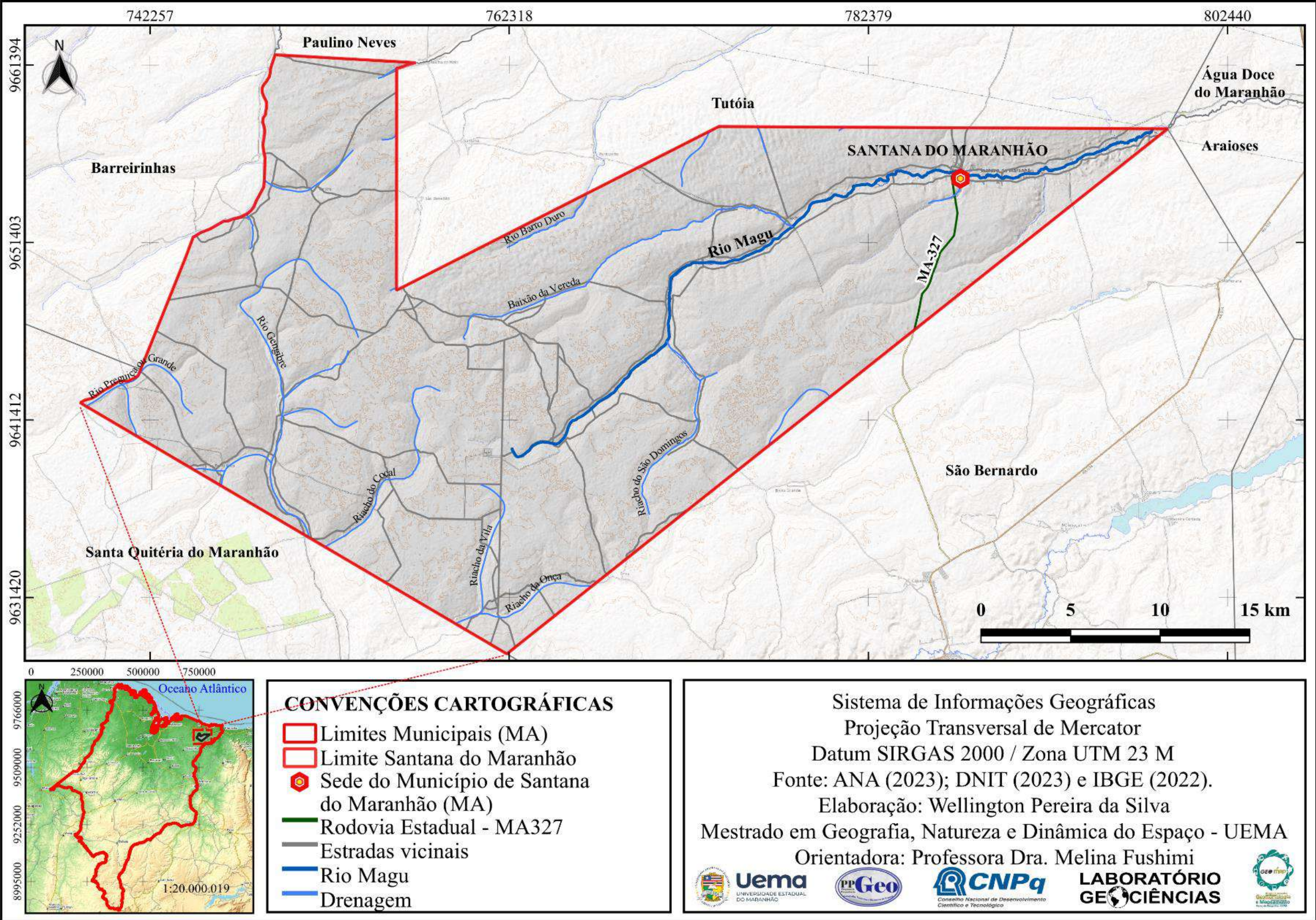
como nos grandes empreendimentos de pecuária. Segundo dados do ZEE-MA (2021), até o ano de 2020 as áreas de pastagem no cerrado maranhense correspondiam a 19,95% da área total, no qual a ampliação da utilização dessas áreas estava relacionada ao incremento de rebanho bovino e caprino na região.

Nos últimos anos, as atividades ligadas ao MATOPIBA têm se expandido para o interior do Maranhão e já se observa sua consolidação em municípios do setor Centro e Leste do estado, caso este já verificado no município de Santana do Maranhão.

Desta maneira, em consequência das transformações territoriais e ambientais ocorridas de forma acelerada causadas pela ampliação do agronegócio, sobretudo na última década no município de Santana do Maranhão, faz-se necessário este estudo, analisando-se assim, os solos e suas correlações com os usos da terra, principalmente na zona rural do município, estabelecendo relações entre os atributos físicos e químicos dos solos e as mudanças resultantes das alterações causadas pelos diferentes usos, para fins de identificar quais as potencialidades e fragilidades desses solos.

O Município de Santana do Maranhão está localizado na Região Geográfica Imediata de Tutóia-Araioses (IBGE, 2017), Mesorregião Leste Maranhense e na microrregião do Baixo Parnaíba Maranhense, com área de aproximadamente de 932,030 km² e população de 10.567 habitantes de acordo com o último censo (IBGE, 2022). O município limita-se, ao Norte, com os municípios de Tutóia, Paulino Neves e Água Doce do Maranhão; a Leste, com os municípios de Araioses e São Bernardo; ao Sul, com Santa Quitéria do Maranhão; e a Oeste com o município de Barreirinhas (Figura 1). É considerado um município de formação recente, criado pela Lei nº 6.176, de 10 de novembro de 1994 (IBGE, 2023). A área de estudo apresenta baixo índice de urbanização, com grande predomínio da zona rural, marcada pela agricultura familiar e pelos avanços do agronegócio.

Figura 1: Mapa de Localização do município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

A presente Dissertação está estruturada em sete tópicos principais. No primeiro tópico traz-se a parte introdutória do trabalho e a percepção de autores que destacam a importância dos estudos físico-químicos dos solos, além da percepção da paisagem dentro da perspectiva geossistêmica. No segundo tópico apresenta-se o Objetivo Geral e os Específicos da pesquisa que nortearam esse estudo. No terceiro tópico, aborda-se a metodologia, que discorre, aponta os caminhos da pesquisa e como esta foi desenvolvida, as etapas para esse desenvolvimento e propondo uma análise integrada da paisagem, a partir da base conceitual de Bertrand (1972).

Já o quarto tópico apresenta o Referencial teórico, um aporte de vários autores para o presente estudo, que concernem às discussões a despeito da “Geografia na perspectiva da evolução do pensamento geográfico”, fazendo uma integração deste desenvolvimento com “O conceito de geossistema na Geografia”, proposto por Bertrand, além de discutir sobre a “paisagem e os usos da terra”, das quais busca-se compreender “a importância da conservação dos solos”. Ainda sobre o quarto tópico, traz-se um importante instrumento e ferramenta para os estudos geoambientais que é “O Geoprocessamento e os Sistema de Informações Geográficas (SIG) nos estudos geoambientais”, muito utilizados atualmente para as tomadas de decisões, planejamento e para avaliação dos impactos ambientais.

No quinto tópico apresenta-se a “Caracterização geoambiental da área de estudo”, a qual discorre-se sobre a Faixa de Transição em que o município está inserido segundo a percepção de Ab’Saber (2003) e de Ribeiro e Walter (2004). Buscou-se discorrer sobre o “Histórico de usos e ocupação da terra no Maranhão, para poder realizar uma “Caracterização dos usos e cobertura da terra no município de Santana do Maranhão”, correlacionando os diferentes usos com o processo histórico da “expansão da monocultura no Brasil, Nordeste, Maranhão e Santana do Maranhão”. Para compreender o processo de uso, visou-se conhecer e realizar a “Caracterização geológica, geomorfológica, pedológica, hidrográfica e climática do Município de Santana do Maranhão”.

No sexto tópico apresenta-se os “Resultados e discussões”, trazendo os resultados coletados sobre os “Usos e cobertura da Terra no município de Santana do Maranhão”. Discorre-se ainda sobre todos os “Pontos de análises dos usos e cobertura da terra”, como ainda, trazem-se os resultados dos “Testes de infiltração”, das “Análises Físicas e Químicas dos solos”, realizadas na área de estudo. E, por fim, apresenta-se as considerações finais apresentando as reflexões sobre o estudo realizado, além de conseguir ampliar o conhecimento adquirido ao longo do mesmo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo principal para essa pesquisa é analisar os solos e suas correlações com os usos da terra e a degradação ambiental no município de Santana do Maranhão (MA).

Para que este objetivo seja alcançado, traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

2.2. Específicos

- Caracterizar os solos, a partir da sua erodibilidade na área de estudo.
- Compreender os processos históricos e os avanços de usos da terra do município de Santana do Maranhão;
- Analisar as potencialidades e as fragilidades dos solos frente aos usos da terra na área de estudo;

3. METODOLOGIA

A Teoria dos Geossistemas foi empregada como base metodológica para a análise integrada da paisagem neste estudo. Além de expor a teoria, sua aplicação prática guiou, a identificação e a análise dos componentes naturais e humanos. Essa hipótese possibilitou a compreensão de como a relevância, os solos, o relevo, o clima e as atividades humanas se relacionam, causando mudanças e transformações na paisagem.

A Teoria Geral dos Sistemas, baseada em autores como Sotchava (1977), Bertrand (1972), Tricart (1977) e Monteiro (1996), fornece ferramentas para a organização e análise do espaço geográfico de maneira sistêmica. Com base nesses autores, o presente estudo foi utilizado para analisar fragilidades e potencialidades e interpretar processos que afetam a estrutura e o funcionamento da paisagem.

De acordo com Quaresma e Silva (2022), Georges Bertrand foi um dos primeiros a considerar a paisagem como um produto de interação entre elementos naturais e sociais. Essa compreensão guiou a análise realizada no estudo, possibilitando uma visão integrada da área em questão e oferecendo suporte para diagnósticos ambientais e planejamento territorial.

Quanto ao Geossistema, Bertrand (1972) considera-o como “unidade dimensional” variando entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. Para ele, nessa “unidade dimensional”, situam-se a maior parte dos fenômenos que interferem nos elementos da paisagem e que envolvem as combinações dialéticas que interessam ao geógrafo.

Essa abordagem relacionada à Teoria Geossistêmica, é uma percepção do enfoque que a análise científica traz no ato da pesquisa. Para isso, o pesquisador precisa delinear suas bases de estudos, visando descobrir aquilo que se propõe ao longo das suas análises. Hissa (2013), por sua vez, propõe esse modo “do fazer científicos” que, para ele, “tu és a metodologia que usas”, pois, para desenvolver uma pesquisa científica, “as metodologias são criadas pelos sujeitos enquanto estes estão criando seus objetos”. Assim, o presente estudo apresenta propostas do fazer geográfico no campo da pesquisa científica em Geografia, pois podem perceber que a pesquisa não cria apenas interpretações, mas cria metodologia enquanto se cria interpretações. O fazer alimenta o pensamento que mobiliza a arte de refazer diferente (Hissa, 2013).

Diante disso, é importante destacar os caminhos que a pesquisa se propôs a investigar na área de estudo. Para essa finalidade, realizou-se o levantamento e a revisão bibliográfica, trabalhos de campo, elaboração dos mapas temáticos e, por fim, as análises de laboratório. Ambos serão abordados nas subseções que seguem.

3.1. Levantamento bibliográfico

O levantamento e revisão bibliográfica foram realizados através de pesquisa em manuais e livros de métodos científicos, análises documentais com base nos arquivos pesquisados na internet e em livros físicos. Os arquivos pesquisados foram relacionados aos solos e os usos da terra, às classes de solos predominantes na área de estudo, caracterização dos solos, taxa de infiltração, análise físicas e químicas, como também foram feitas revisões sobre as alterações ocorridas na paisagem, por ocasião dos intensos usos da terra, visto que esta é a categoria de análise geográfica do presente estudo. Buscou-se ainda, uma revisão de literatura que visasse a abordagem geossistêmica nos estudos que corroborasse a sistematização dos diferentes tipos de usos, correlacionando-os à paisagem, em diferentes fontes, como livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses.

Para a definição do histórico de uso da terra são representados em alguns dados fotográficos, com base nas imagens do Google Earth, nos anos de 2004, 2009, 2014 e 2024 que

representam os avanços dos diferentes usos, do momento histórico das ações humanas sobre a paisagem, nos quais são destacadas classes de mudanças de ambientes naturais e áreas não naturais representados, sobretudo, pela atividade produtiva no Município.

3.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo é essencial para evidenciar os dados levantados pelo pesquisador em gabinete. De acordo com Venturi (2010), as técnicas de pesquisas podem ser divididas em três momentos ou espaços de trabalho: o gabinete, o campo e o laboratório. São etapas que contribuem para que se consiga alcançar os objetivos propostos durante a pesquisa.

Venturi (2010) afirma que o gabinete é utilizado para o planejamento e a preparação do trabalho de campo e de laboratório. O campo, para ele,

[...] é onde são gerados os dados primários e confirmam-se ou ajustam-se os secundários, ou seja, dados que podem corroborar ou não hipóteses de trabalho e conceitos científicos. Nesse caso, a observação em campo é mais sistemática e menos aleatória, embora o contato com a realidade quase sempre gere novas ideias que serão incorporadas como novas variáveis à análise geográfica. Isso quer dizer que, embora o contato com a realidade seja direto e sistematizado, não se tem controle assegurado sobre os processos, como se pode ter em laboratório. No campo, o pesquisador está submetido às dinâmicas da realidade que eleger estudar (Venturi, 2010, p 22).

Para Hissa (2017), o exercício de campo é imprescindível e requer tempo para sua preparação, ou seja, é “preciso muito tempo e preparação para se recolher pouca coisa”. Para o autor, ele é o exercício de *visita intencional ao mundo*, ou seja, um certo recorte de mundo, para que as informações possam ser recolhidas e organizadas. Para ele, o trabalho de campo pode ser necessário em estudos de caso e, também, nas denominadas pesquisas empíricas que adquirem espaços nas ciências sociais.

Buscando uma análise central do trabalho de campo, observa-se que a ida ao campo, em determinadas disciplinas e pesquisas, adquire centralidade, pois, vai-se ao campo para observar e construir possibilidades de descrição do mundo visível. É o caso da Geografia, que permite a descrição – a escrita da terra: *essa terra da Geografia* – desse objeto compreendido por tudo que é visível (Hissa, 2017).

Essas reflexões são pertinentes para que se possa apresentar os resultados de campo. Assim, faz-se necessário compreender o processo que se faz, antes (gabinete), durante (campo) e após o trabalho de campo (laboratório), para que se compreenda a importância desse “exercício de campo”.

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas: nos períodos de 23 a 25 de junho de 2023 e de 02 e 03 de março de 2024, com observação *in loco* da expansão dos diversos tipos de usos, como também se realizou o registro fotográfico através de veículo aéreo não tripulado (VANT) e com máquina fotográfica.

No trabalhos de campo, realizou-se um total de 48 coletas de amostras de solos, sendo 24 amostras deformadas e 24 indeformadas que foram destinadas para as análises físicas (laboratório de geociências, do departamento de Geografia) e químicas dos solos (laboratório do Centro de Ciências Agrárias – CCA) ambos da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

3.2.1. Pontos de coleta de amostra de solos

Os trabalhos de campo ocorreram em junho de 2023 e março de 2024. Os pontos foram previamente selecionados, de acordo com os diferentes usos, levando-se em consideração os avanços destes, na faixa de transição (Ab’Saber, 2003) de fitofisionomia de Cerrado. Os usos da terra são os identificando na Tabela 1 e suas respectivas coordenadas coletadas durante os trabalhos de campo.

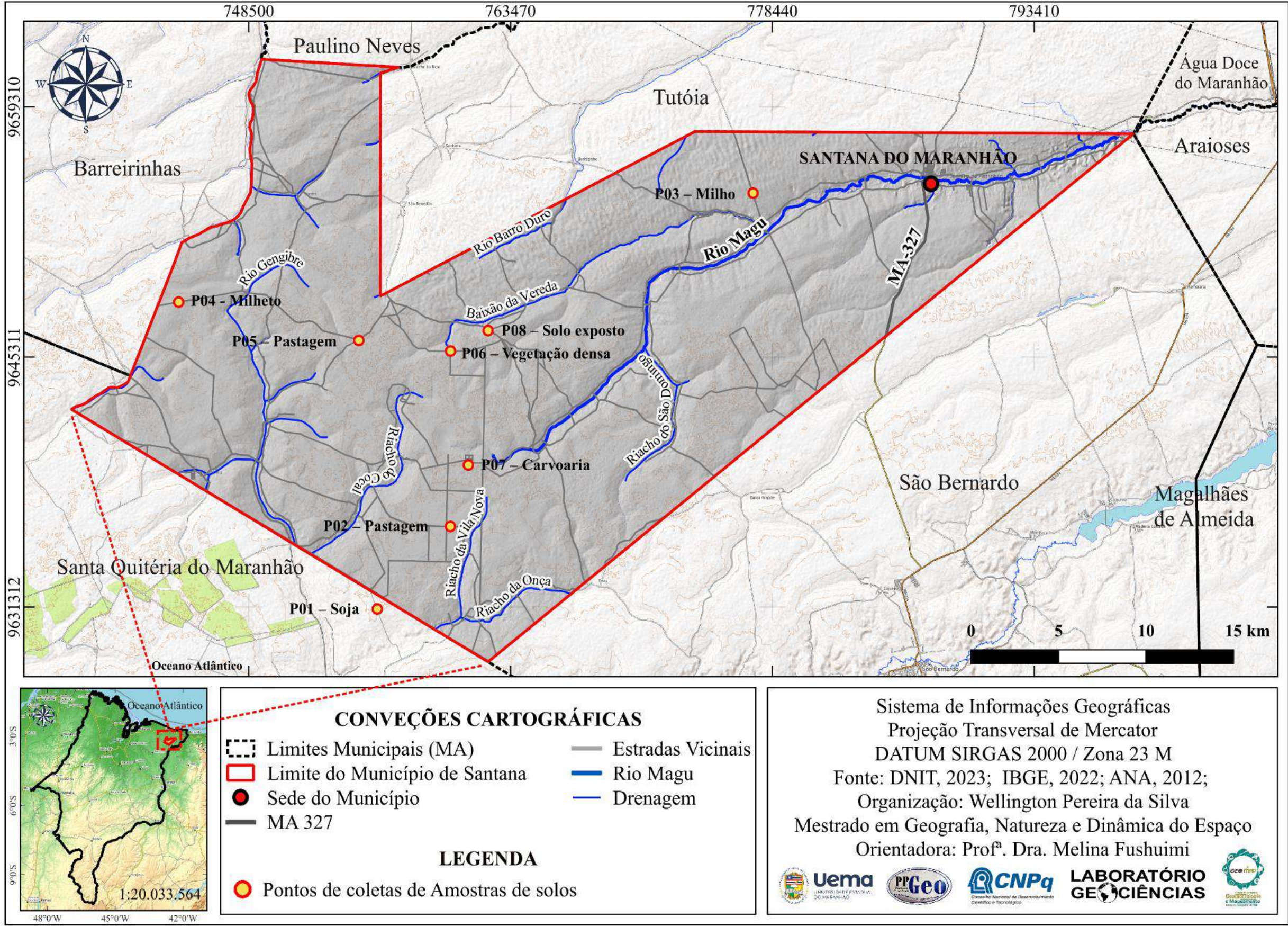
Tabela 1: Pontos dos locais onde foram coletadas as amostras de solos durante os campos e suas respectivas coordenadas geográficas.

<i>Id</i>	<i>PONTOS</i>	<i>Latitude (Sul)</i>	<i>Longitude (Oeste)</i>
<i>P01</i>	Soja	3°20' 2"S	42°41' 51"W
<i>P02</i>	Pastagem	3°17' 31"S	42°39' 36"W
<i>P03</i>	Milho	3°7' 23"S	42°30' 17"W
<i>P04</i>	Milheto	3°11'52"S	42°42'26"W
<i>P05</i>	Pastagem	3°11'52"S	42°42'26"W
<i>P06</i>	Vegetação densa	3°12'11"S	42°39'36"W
<i>P07</i>	Carvoaria	3°15'39"S	42°39'2"W
<i>P08</i>	Solo exposto	3°11' 34"S	42°38' 27"W

Fonte: Própria pesquisa, 2023.

A figura (2) a seguir, mostra a localização dos 8 pontos na área de estudo, onde foram coletados os solos, realizado os testes de infiltração, bem como a caracterização da paisagem *in loco* em campo.

Figura 2: Mapa de Localização dos pontos de coletas de solos no município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Os pontos foram previamente selecionados para os trabalhos de campo, realizando-se a caracterização de uso e cobertura da terra nos locais predefinidos. A vegetação encontrada na área de estudo, vem passando por um amplo processo de desmatamento com os avanços das fronteiras agrícolas. Com isso, a área florestal classificada pelo IBGE (2013), vem sofrendo com os avanços desses usos, tanto da agricultura convencional, quanto pela tradicional, tornando-a numa vegetação secundária mista, como resultado da expansão agrícola. Partes da devastação da vegetação nativa, recompõe-se lentamente, pois além do desmatamento, sofrem com fortes queimadas anualmente, nos períodos de julho a dezembro, predominando os campos limpos e o sistema de capoeira.

Durante a atividade de campo, coletou-se 48 amostras de solos nos 08 pontos acima destacados, há uma profundidade de 10 cm, levando-se em consideração os diversos tipos de usos identificados. Para cada ponto (figura 2), coletou-se 3 amostras deformadas, com o trado holandês e 3 amostras indeformadas com o trado volumétrico. Nestes pontos foram realizados ainda os testes de infiltração, um importante parâmetro para saber a taxa de infiltração de água no solo, que consiste na determinação da quantidade e velocidade de entrada de água no solo, medindo a capacidade deste de absorver e reter água (IBGE, 2015).

Convém destacar que as coletas foram realizadas, levando-se em consideração os tipos de usos, com o objetivo de analisar os solos e suas correlações com os usos da terra, visando compreender em qual tipo de solos esses usos são mais frequentes e comuns.

Os avanços dos usos da terra são recorrentes mais ao Sul do município de Santana do Maranhão, em decorrência dos avanços fronteiriços com o plantio de soja, campo de pastagens e produção de carvão vegetal serem expandidos nos limites de Santa Quitéria do Maranhão, acabaram que perpassando ao município de estudo. Portanto, os trabalhos de campo concentraram-se, principalmente, onde os usos da terra e as atividades agropecuárias estão avançando.

3.2.2. Teste de Infiltração

Para além das coletas de amostras, realizou-se também o teste de infiltração em cada ponto coletado. O teste de infiltração foi realizado na área de estudo, cujo objetivo foi identificar a taxa de infiltração de água no solo. No campo da pesquisa científica em Geografia, é um parâmetro muito importante, pois ajuda a identificar se os solos são suscetíveis aos processos erosivos, ou seja, quando a taxa de infiltração é baixa, ocorre o escoamento

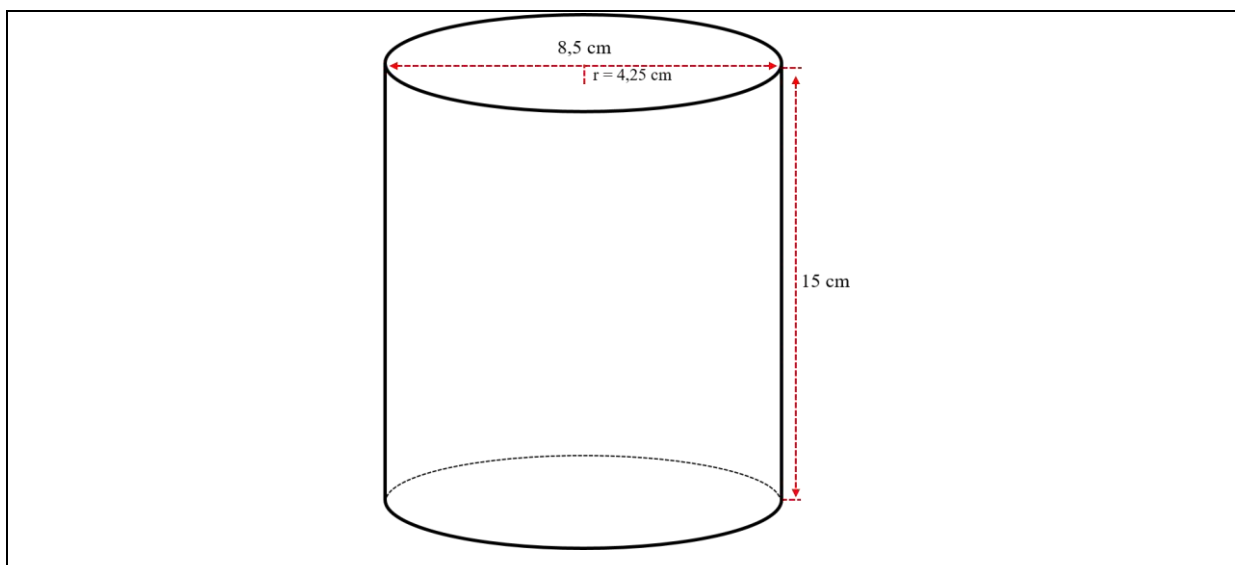
superficial, ocasionando a erosão dos solos, dificultando a estes a capacidade de armazenamento e abastecimento do lençol freático.

Assim, julga-se necessário e importante identificar a taxa de infiltração de água no solo. Por isso, a importância de realizar os testes de infiltração em cada ponto visitado em campo. Para Bezerra (2011),

“A umidade exerce outra importância fundamental no solo, uma vez que fornece água para atender às exigências de evapotranspiração dos vegetais em crescimento, fornece água para o lençol freático e constitui a solução do solo. Uma das principais características dos solos é a retenção de água durante um determinado tempo. Essa água é essencial para a vida das plantas, e sua reposição é realizada pelas chuvas ou irrigação” (Bezerra, 2011, p .43).

Para a realização do teste de infiltração, utilizou-se a técnica proposta por Guerra (2011). O infiltrômetro utilizado no ensaio, segue as dimensões de 15 cm de comprimento e 8,5 cm de diâmetro, com um raio (r) equivalente a 4,25 cm, conforme expressa a figura 3.

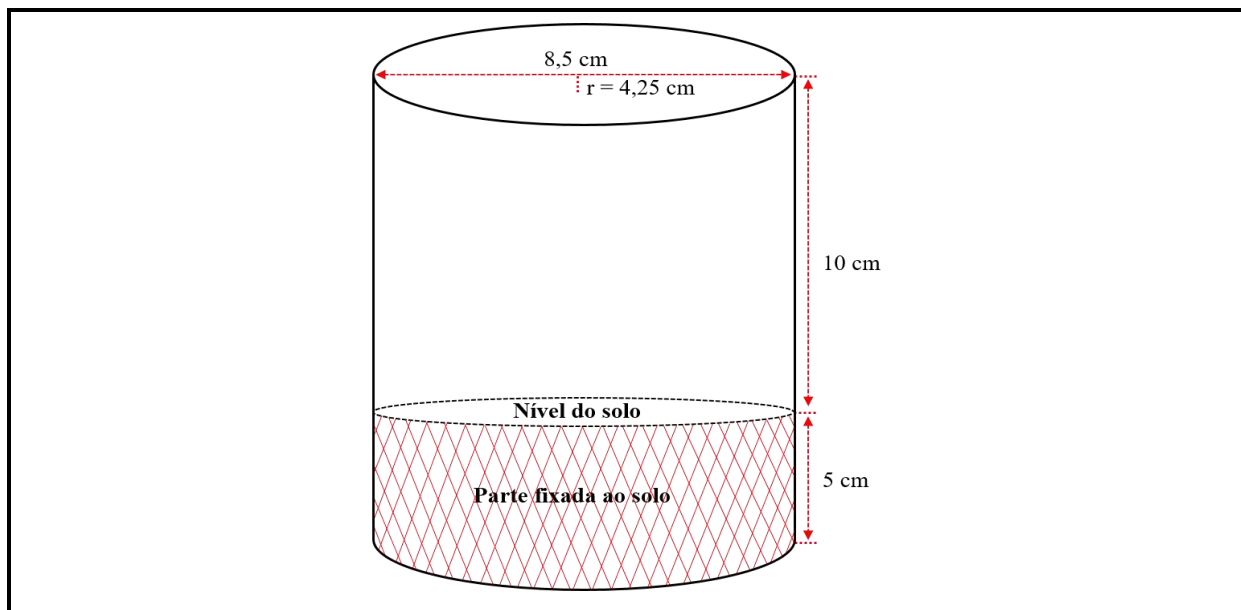
Figura 3: Infiltrômetro, segundo Guerra (2011)



Fonte: Própria pesquisa (2024) – adaptação de Guerra (2011).

O primeiro passo para realizar o teste de infiltração é a fixação de 5 cm do infiltrômetro no solo (figura 4) com o auxílio de um pedaço de madeira sobreposta na parte superior e uma marreta, de modo que, não perturbe muito o solo, para evitar que este seja alterado bruscamente, para não facilitar a infiltração de água sobre ele, mantendo inalterada sua estrutura. Outro fator importante é o nivelamento do infiltrômetro para que os resultados sejam precisos.

Figura 4: Infiltrômetro ilustrativo, modelo adaptado para a pesquisa



Fonte: Adaptação – Própria pesquisa, 2024

Para o armazenamento e transporte de água até os locais dos testes, utilizou-se garrafas pets (*Polietileno tereftalato*) de 2 litros que serviram para reabastecer o infiltrômetro a cada teste; uma régua para medir a altura na infiltração; um prendedor de roupa para prender a régua no infiltrômetro, evitando que esta ficasse móvel; um infiltrômetro de Hills, cronômetro, bloco de anotações e uma tabela com o tempo previsto, em minutos/segundo, para anotação dos valores obtidos na técnica de infiltração.

Após fixação do infiltrômetro no solo, deve-se colocar uma régua numerada, prendendo-a com um prendedor de roupas (figura 5). Abasteceu-se o infiltrômetro e iniciou-se a contagem de 30 minutos para o teste de infiltração. A reposição no infiltrômetro era realizada quando o nível de água baixava 5 cm na régua, registrava-se a leitura e marcada com um asterisco (*) na tabela do teste de infiltração, para identificar quantas recargas eram realizadas ao longo do teste.

Figura 5: Infiltrômetro devidamente fixado com a régua e prendedor para o teste.



Fonte: Própria pesquisa, 2023

Após os 30 minutos de teste, dava-se por encerrado a avaliação da taxa de infiltração, pois já era possível identificar a velocidade da infiltração de água no solo, a partir dos dados coletados. Quanto a esses dados, serão apresentados na seção dos resultados deste estudo.

3.3. Análise de laboratório

Venturi (2010), afirma que o trabalho em laboratório envolve o tratamento das informações obtidas no campo anteriormente, planejadas no gabinete. Para ele, o laboratório ainda tem outra função acadêmico-científica, pois são feitas simulações de fenômenos, cujo controle é mais eficiente do que em campo; faz-se as simulações que podem, por analogia, promover maior compreensão do real, a exemplo de testes de porosidade e permeabilidade de solos, etc.

Segundo o autor (*op. cit.*), o laboratório tem ainda, uma função mais didática, tanto em escolas como em universidades, pois é o espaço em que promovem-se estágios, do qual a função é, entre outras, a aquisição de determinadas habilidades, cujo aprendizado resulta de determinadas técnicas, como por exemplo, a elaboração de mapas.

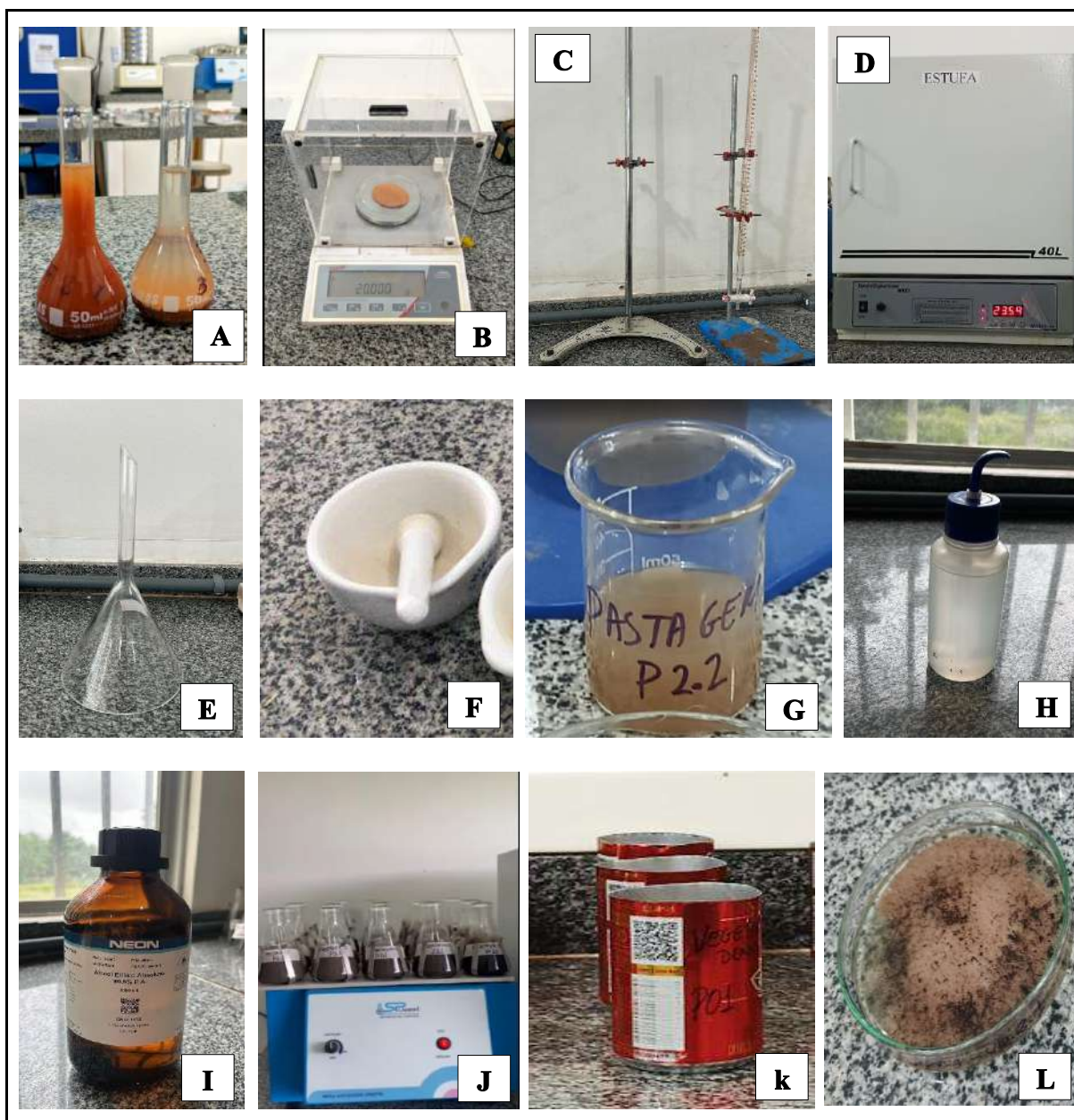
Diante dessas análises, observa-se que todo o processo de pesquisa requer um planejamento que possa contribuir para as descobertas, dos quais as propostas são traçadas ao longo do processo investigativo. Isso mostra que, a pesquisa serve, antes de tudo, para buscar “as verdades que vamos procurar tão longe e [grifo nosso] só tem valor àquilo quando liberta dessa canga” (Hissa, 2017), ou seja, quando é capaz de mostrar a realidade, permitindo ampliar a capacidade de compreender aquilo que se está investigando.

A percepção até aqui abordada, a despeito da importância dos trabalhos de campo e de laboratório, contribuiu para aplicar essas teorias na prática. Assim, as análises foram realizadas seguindo os manuais da Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017) e Camargo *et al.* (2009). Para a realização da descrição e classificação dos solos, realizou-se utilizando os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos *et al.*, 2018).

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Geociências e no Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP) do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Levou-se em consideração as características morfológicas dos solos tais como a textura e estrutura (forma e tamanho), de acordo com os procedimentos metodológicos do manual de descrição e coleta de solo no campo (Embrapa, 1996), Manual Técnico de Uso da Terra (Embrapa, 2013); do Manual Técnicas de Pedologia (IBGE, 2015) e do livro – Geografia: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula (Venturi, 2011). As análises químicas foram realizadas no Centro de Ciências Agrárias – CCA, da Universidade Estadual do Maranhão, seguindo a metodologia e os procedimentos do Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira *et al.*, 2017).

As análises da densidade do solo e da densidade de partículas contou com os seguintes materiais (figura 6): balão volumétrico de 50 ml (A), balança com precisão de 0,001 g (B), buretas de 50 ml (C), estufa com ajuste de temperatura para 105 °C (D), funil de vidro (E), almofariz (F), béquer (G), piceta (H), álcool etílico (I), mesa agitadora (J), lata metálica (alumínio) (K), placa de petri (L).

Figura 6: Materiais utilizados nas análises no Laboratório



Fonte: Própria Pesquisa, 2024.

A determinação da densidade do solo envolve duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume ocupados pelas partículas e

pelos poros. O volume pode ser obtido por meio da coleta de amostra com cilindro de volume conhecido (Teixeira *et al.*, 2017). A densidade do solo geralmente aumenta com a profundidade do perfil pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade (Kiehl, 1979).

O cálculo da densidade do solo, é realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$Ds = \frac{M}{V} g/cm^3$$

Sendo: *Ds* = a densidade do solo, *M* = massa em gramas e *V* = volume em centímetros cúbicos (cm³).

A determinação da densidade dos solos, compreende duas etapas, sendo a obtenção da massa e do volume destes solos. Para determinar a massa foi preciso pesá-la depois de seca na estufa, a uma temperatura de 105° C, durante um período de 24 horas. Para o volume considera-se o volume do anel volumétrico de 100 cm³, utilizado para a coleta de amostra indeformada em campo. O método do anel volumétrico ou cilindro volumétrico ou ainda anel de Kopeck (Kiehl, 1979) é considerado um método padrão para a amostragem e a avaliação da densidade do solo. Utiliza-se álcool etílico, em função da maior facilidade de ocupar os espaços porosos mais rápido e pelas interfaces dos constituintes da amostra, por apresentar baixa tensão superficial quando comparado à água (Kiehl, 1979; Teixeira *et al.*, 2017).

Para determinar a densidade, pesou-se 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE). Com o auxílio de um funil, transferiu-se para o balão volumétrico de 50 ml. Em seguida, transferiu-se 25 ml de álcool etílico da bureta aferida (50 ml) para o balão volumétrico, de modo que cobrisse inteiramente a massa de solo. Logo após, agitou-se o balão durante 1 minuto, para facilitar que o álcool ocupasse os poros do solo com maior rapidez. Em seguida, deixou-o repousar por 30 minutos e, por fim, prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até completar o volume do balão, verificando-se a ausência de bolhas e anotou-se o volume de álcool gasto no processo. Para determinar o volume de TFSE utilizou-se a expressão: $V=50 - L$. O cálculo da densidade de partículas usou-se a expressão: $Dp=20/V$ (Blake, 1986; Bowes, 1986; Teixeira *et al.* 2017). Para determinar a Porosidade Total (Pt), baseado nas densidades de partículas (real) e do solo (aparente), utilizou-se a expressão no Excel para realização dos cálculos: $Pt (\%) = [(Dp - Ds) \div Dp] \times 100$, onde: *Dp* = densidade de partículas; e *Ds* = densidade de solo (IBGE, 2015) vezes 100 (%) para determinação da Porosidade em Porcentagem.

Para as análises dos atributos físicos dos solos coletados, determinou-se a densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria de acordo com o Manual de

análise de solos da Embrapa (Teixeira *et al.* 2017). Para uma melhor caracterização dos solos, frente os diferentes usos, realizou-se as análises granulométricas, teor de Matéria Orgânica (MO g/dm³), baseado na sua oxidação a CO₂ por íons dicromato, em meio fortemente ácido; pH em CaCl₂; teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, P, C orgânico e acidez potencial (H⁺Al). Para determinar o teor de argila, aplicou-se o método da pipetagem, usando como dispersante químico, a solução NaOH 0,1 mol L⁻¹; o teor de areia foi determinado por dispersão mecânica e estabilização da amostra por meio de agitador em uma solução dispersante adequada, seguida da separação das frações por peneiramento e sedimentação. O teor de silte foi determinado, subtraindo-se do total da alíquota, as massas de argila e areia (Embrapa, 2017).

A determinação do carbono orgânico (C) foi através da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio com ácido sulfúrico. Os cátions Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹. Para a extração do H⁺Al, realizou-se com a solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. Extraíu-se os elementos Na⁺ e K⁺, com a solução de H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹. Determinou-se os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ por espectroscopia de absorção atômica; K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama e Al³⁺ e H por titulometria.

Os atributos que foram analisados e que são de suma importância para compreender as potencialidades e/ou fragilidades dos solos na área de estudo, foram a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC efetiva), a capacidade de troca de cátions a pH 7,0, saturação de bases (V %) e a porcentagem de sódio trocável (PST %). Para a interpretação dos resultados obtidos, fez-se com base na tabela proposta por Sobral *et al.* (2015) e Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999), adaptada pela própria pesquisa.

Os autores (*op. cit.*) apresentaram os resultados em *centimol de carga por decímetro cúbico* (cmol_c/dm³). Para efeito da interpretação dos resultados, a partir desta tabela, transformou-a para *milimol de carga por decímetro cúbico* (mmol_c/dm³), multiplicando os valores apresentados pelos autores (*op. cit.*) em cmol_c/dm³ por 10 (cmol_c/dm³ * 10), conforme determina a Unidade do Sistema Internacional e obteve-se os resultados conforme expressos na tabela (16)

Tabela 2: Tabela para interpretação dos atributos SB, CTC efetiva, CTC a pH 7,0 (T), V% e PST%, a partir de Sobral et al. (2015) e Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

Característica	Classificação		
	Baixo	Médio	Alto
Soma de Bases (mmol _c /dm ³)*	6,1 – 18,0	18,1 – 36,0	> 36,0**

CTC efetiva (t) (mmolc/dm³)	< 20,0	20,0 – 40,0	> 40,0
CTC a pH 7,0 (T) (mmolc/dm³)	< 50,0	50,0 – 150,0	> 150,0
Saturação por base (V%)	< 50,0	50,0 – 70,0	> 70,0
Percentagem de Sódio Trocável (PST%)	< 6,0	6,0 – 15,0	> 15,0

Fonte: Sobral *et al.* (2015). *Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999). Adaptado pela pesquisa (2024). ** Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999), consideraram que a Soma de Bases menor que ou igual a 6,0 mmolc/dm³ ($\leq 6,0$) é considerado muito baixo; entre 36 a 60 (mmolc/dm³) é considerada boa (bom) e os valores maiores que 60 ($> 60,0$ mmolc/dm³) é considerada muito boa.

Para determinar a Soma de bases (SB em mmolc/kg), Capacidade de troca de cátions (CTC em mmolc/kg), Saturação de bases (V %) e a Capacidade de Troca de Cátions a pH 7, aplicou-se as fórmulas que seguem:

- Soma de bases (SB mmolc/kg) = Ca + Mg + Na + K
- Capacidade de troca de cátions (CTC mmolc/kg) = SB + (H + Al)
- Saturação de bases (V %) = SB x 100 / CTC
- Capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC/pH7 mmolc/kg) = K + Ca + Mg + (H + Al)

3.4. Elaboração de mapas temáticos

A base cartográfica foi organizada em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), com o *software* livre Qgis (*Qgis Development Team*) versões, 3.28 e 3.34. Realizou-se a busca por bases de dados vetoriais (shapefiles), na página de download do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBG (2022; 2023), para a elaboração dos mapas temáticos. Ao longo do processo, foi realizado o download das imagens do satélite Sentinel-2 L2A, as quais foram utilizadas para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra. As imagens são de domínio público.

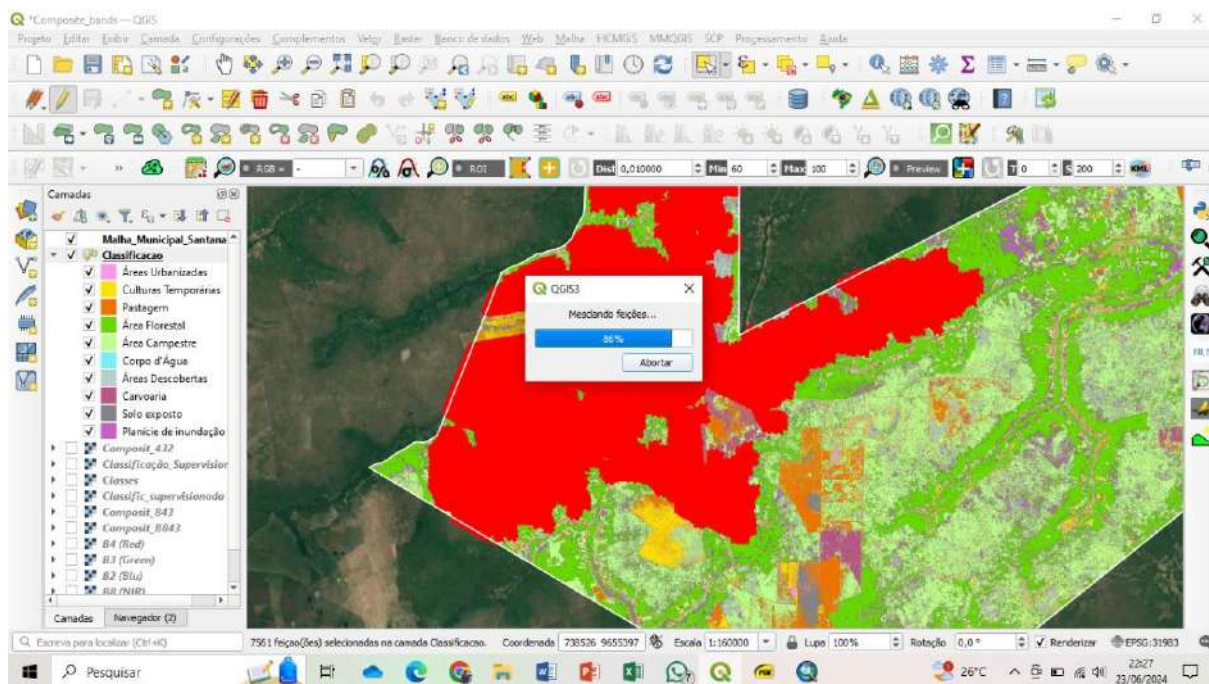
As classes de uso e cobertura da terra seguiram os critérios de cores e nomenclatura das classes padrões, adotadas pelo IBGE (2013). O estudo contou com utilização dos dados de uso e cobertura da terra, de acordo com o Manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013). Com as informações do Manual, realizou-se pesquisas de imagens de satélites na Agência Espacial Europeia (ESA), para a realização de classificação supervisionada.

O mapa de uso e cobertura foi baseado nas imagens de satélite, Sentinel-L2A, de outubro de 2023, que corresponde ao período seco e sem nuvens para a área de estudo, numa escala de 1:10.000 metros, sendo possível identificar os diferentes padrões de usos para a área

de estudo. Fez-se o download de duas imagens, pois não havia uma única que cobrisse toda a área. Antes de fazer a classificação supervisionada, fez-se a composição das bandas RGB - 4, 3, e 2 (*Red, Green e Blue*), o mosaico e em seguida, recortou-se o limite do município de Santana do Maranhão. Após esse processo, no QGIS, coletou-se amostras na imagem obtida, de acordo com cada classe de uso e cobertura da terra, realizando-se a classificação com o “Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)”, do QGIS 3.34.

Após a rotação da classificação, percebeu-se que o programa separou as informações das amostras por pixel's e não pelas classes definidas no ato das coletas amostrais, fato que levou-se fazer as devidas correções, mesclando os polígonos menores às classes pertinentes, conforme expressa a figura 7.

Figura 7: Correção da classificação supervisionada no software QGIS.



Fonte: Própria Pesquisa, 2024.

A caracterização dos usos da terra e como estes têm influenciados na dinâmica da paisagem, foi realizada correlacionando-os com os elementos da paisagem, para compreender como esses dados influenciam nas características dos solos analisados. A caracterização dos usos foi feita a partir dos trabalhos em campo e com as análises laboratoriais dos atributos físicos e químicos pedológicos, com os manuais oficiais disponibilizados pela Embrapa e IBGE.

O mapa de solos, por não encontrar uma base própria para o município de Santana, realizou-se uma busca no Portal do IBGE. Na primeira base, na escala de 1:5.000.000, foram

identificadas 4 (quatro) classes (IBGE, 2006); a segunda base, numa escala de 1:250.000, foram identificadas 2 (duas) classes, tanto no banco de dados do IBGE (2023), como na base de dados do IMESC (2022), que utilizou a base do IBGE, 2011, conforme detalhada no quadro 2. Em seguida, utilizou-se o software QGis, para fazer o recorte para a área de estudo.

Para este estudo, utilizou-se o mapa de solos do IBGE (2023), escala de 1:250.000. Após o download das bases, realizou-se o recorte para a área de estudo. Optou-se por essa base por apresentar uma menor escala e melhor nível de detalhamento, dentre as bases de dados disponíveis. Para a definição da drenagem do município, utilizou-se as bases da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017). Para as vias de acesso, empregou-se a base de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2023), do Open Street Map (2023), realizando o recorte dessas vias com o plug-in “*OSM Download*”, do software QGis. As demais vias que não foram identificadas, em nenhuma das bases citadas, realizou-se a vetorização destas com o mesmo software, traçando as rotas com base nas informações de campo e com o auxílio do Google Satélite.

Quadro 1: Quadro demonstrativos dos tipos de solos identificados na literatura para o município de Santana do Maranhão

IBGE (2006)	IBGE (2023)	IMESC (2022)	IMESC (2024)
4 classes de solos: 1:5.000.000 1. Plintossolos Pétricos Concrecionários 2. Gleissolos Hápicos Tb Distróficos 3. Latossolos Amarelos Distróficos 4. Neossolos Quartzarênicos Órtico	2 Classes 1:250.000 1. Latossolo Amarelo 2. Neossolo Quartzarênico	2 Classes 1. Latossolo Amarelo Distrófico 2. Neossolo Quartzarênico Órtico Obs. Para essa elaboração, o IMESC utilizou a base de dados do IBGE, 2011.	3 Classes 1. Latossolos, 2. Argissolos e 3. Neossolos Obs. Para essa classificação, o Instituto não diz, no estudo, qual base utilizou, tampouco apresenta um mapa de solos para corroborar tais afirmações.

Fonte: Própria pesquisa, 2024.

Convém destacar que os tipos de solos apresentados para o município de Santana do Maranhão, na Enciclopédia dos Municípios Maranhenses: Região de Desenvolvimento do Delta das Américas, volume 10 (2024), não traz uma caracterização detalhada dos níveis dos solos do município, como fora citado noutras publicações.

O mapa de solo, na escala de 1:250.000, foi desenvolvido a partir do mapeamento pedológico do município de Santana do Maranhão disponibilizado pelo Banco de Dados e Informações Ambientais – BDIA, do IBGE (2023). As classes de solos identificadas foram adaptadas de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBC (Santos *et al.*, 2018).

Os mapas de Geologia e Geomorfologia de Santana do Maranhão, foram elaborados na escala de 1:250.000, a partir da Folha SA.23 – São Luís e parte da Folha SA.24 – Fortaleza, do disponível no Serviço Geológico Brasileiro – SGB (Brasil, 1973). Para a elaboração dos mapas, realizou-se o georreferenciamento do arquivo raster (após transformar de pdf para raster) no Software QGis e, em seguida, fez-se a vetorização de acordo com as camadas propostas, criando assim uma nova camada shapefile (SHP), identificando cada classe conforme as apresentadas no arquivo raster. Para a camadas propostas, usou-se a simbologia de cores de acordo com o mesmo autor.

Para a elaboração do mapa de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada*), utilizou-se a as bandas 8 (NIR) e 4 (RED), das imagens do Sentinel-2 L2A, de julho de 2024. Para definir o índice de reflectância das imagens, foi utilizada a Calculadora Raster do QGis, aplicando-se a fórmula: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$. A finalidade deste mapa é apresentar a espacialização da vegetação verde e detectar as alterações que vem ocorrendo na área de estudo.

O mapa de hipsometria realizou-se com o objetivo de demonstrar a altimetria do terreno. Para isso, foi usado o plugin *Open Topography* para fazer o Modelo Digital de Elevação (MDE). Com a malha municipal da área de estudo e a imagem do Google Satélite ao fundo, abriu-se o plug-in e configurou-o para uma resolução do Copernicus Global DSM 30m (metros), definindo a seleção do MDE, para a extensão da tela do mapa, deixando o programa processar a imagem.

Os mapas elaborados para este estudo estão de acordo com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). Esse Sistema é oficialmente o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), determinado através da Resolução 1, de 25 de fevereiro de 2005, pelo IBGE. Para além do SIRGAS 2000, empregou-se ainda a Projeção Transversal de Mercator, na Zona UTM 23 Sul (23M). No plano de fundo de ambos os mapas, utilizou-se a imagem de satélite do Open Street Map (OSM), disponível na guia WEB, do QGis.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. A Geografia na perspectiva da evolução do pensamento geográfico

Ao longo de sua história, a Geografia vem passando por intensas transformações. Processo este que, são primordiais para a compreensão do fazer científico e para a evolução do pensamento geográfico, pois o ser humano passa a analisar e interpretar os fatos que ocorrem na superfície da Terra, como resultado das ações dos diversos agentes sociais.

Assim, o papel da Geografia, para além dos estudos que compreende a superfície terrestre e das mudanças que nela ocorrem, busca compreender os fenômenos físicos, biológicos e humanos, como também suas causas e relações que se dão ao longo dos processos históricos. Essa análise, para Andrade (2008), é complementada pela interpretação que os cientistas sociais dão ao processamento dos fatos e dos impactos causados sobre os sistemas sociais e o ambiente.

Ao analisar o papel do geógrafo e o fazer geográfico, Andrade (2008) afirma que se deve levar em conta, tanto o processamento vai ocorrendo diariamente na superfície do Planeta, como as ideias que norteiam a ação do ser humano nas transformações que provocam.

A exemplo disso, são inúmeros os casos de ocorrência dos usos da terra pelo sistema capitalista que visa a produção em larga escala, que acabam explorando grandes propriedades, gerando conflitos entre grandes latifundiários e o pequeno agricultor, que fica às margens desses empreendimentos. Diante disso, Andrade (2008) afirma que,

Nas áreas tradicionalmente ocupadas, observa-se a luta que se trava entre os grandes proprietários rurais e os agricultores sem-terra, ou com pouca terra, por espaço para a agricultura. Vê-se a disputa entre a perspectiva de desenvolvimento de uma lavoura voltada para o mercado interno, feita por pequenos proprietários, e de uma lavoura de exportação, do chamado agronegócio para atender a grandes proprietários e empresas, muitas delas estrangeiras. Seria, em linguagem figurada, a luta entre a mandioca e a soja. (Andrade, 2008, p. 9-10).

A abordagem proposta, corrobora o papel da Geografia em assimilar os diversos fenômenos que sobrevêm ao longo de sua trajetória, visando uma compreensão desses processos e fatos que acentuam o pensamento geográfico. Assim, a Geografia desponta para novos caminhos e busca, de modo amplo, a evolução desse pensamento por não se fechar em si mesma, mas por alargar a novos horizontes das análises e interpretação dos fatos.

De acordo com Silva *et al.* (2014), a Geografia do século XIX desenvolve-se, inicialmente, com as grandes contribuições dos cientistas alemães – Alexander von Humboldt (1769-1859) e Karl Ritter (1779-1859) que são considerados fundadores da Geografia,

decorrente do caráter sistemático e metodológico, que vão dar a ela, a possibilidade de ser considerada uma ciência moderna. Para estes autores, o conjunto de fatores que surgem nos séculos XV e XVIII, contribuem para o processo de sistematização do conhecimento geográfico que, se tornará ciência, somente no séc. XIX.

Marcelo Lopes de Sousa (2018), em seu artigo intitulado “Quando o trunfo se revela um fardo: reexaminando os percalços de um campo disciplinar que se pretendeu uma ponte entre o conhecimento da natureza e o da sociedade”, buscou construir uma linha de pensamento e discussões acerca dos conceitos fundamentais e da interdisciplinaridade no campo da Geografia, no que desrespeito ao campo “natureza e sociedade”.

Souza (2018) destaca que a Geografia, que se apresentava como uma “ciência social”, passou a substituir a Geografia Humanista Positivista, predominante no final do século XIX início do século XX. Para ele,

[...] não apenas uma Geografia Física fortemente desinteressada dos processos sociais que afeioam e modelam a superfície terrestre, mas, a rigor, uma Geografia Física crescentemente fragmentada em subcampos que se foram proclamando ciências independentes, a começar pela Geomorfologia (Souza, 2018, p. 277).

Compreende-se que a Geografia enquanto ciência busca uma visão holística do ponto de vista sistêmico, pois visa compreender e integralizar os diversos campos espaciais, dirimindo os fenômenos outrora complexos e essa complexidade serve para “expressar nosso incômodo, nossa confusão, nossa incapacidade para definir de modo simples, para nomear de modo claro, para ordenar nossas ideias” (Morin, 2015).

Do ponto de vista dessa complexidade, para o clareamento das ideias, buscando ordenar de modo claro as concepções geográficas, discute-se a integralização da Teoria Geral dos Sistemas, uma teoria proposta por Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), na década de 1950. Essa abordagem possibilitou à Geografia Física um aperfeiçoamento do caráter metodológico, até então indefinido e complexo (Lopes, *et al.* 2014).

Para além dessa concepção, Ferreira (2023) destaca que a Geografia passa a despontar novos caminhos, porque começa a conceber novos paradigmas que submetem o olhar crítico direcionando diferentes óticas na perspectiva do pensamento geográfico. Para ela, a distinção entre Geografia Física e Geografia Humana caminhou sob diferentes óticas, pois essa distinção fazia a Geografia progredir, direcionada à compreensão dos processos e formas da sociedade, respaldada nas Ciências Humanas.

Nota-se que a Geografia passou por diversos acontecimentos expressivos ao longo da história do pensamento geográfico, que foram pautados a partir da tentativa de analisar e

compreender as relações entre natureza e sociedade. Em decorrência disso, surge a fragmentação da Geografia em “humana” e “física” (Ferreira, 2023) que visa refletir a evolução do pensamento geográfico, determinante para o processamento dos fatos e das ações do ser humano na sociedade e no ambiente.

Quanto a fragmentação da Geografia, destaca-se o surgimento de vários outros segmentos como a Geomorfologia, a Geografia Ambiental e a Ecogeografia de autores que buscam a inter-relação como forma de compreender que ambas são capazes de discutir os mesmos conceitos sem abrir mão do social, tampouco do natural (Souza, 2018). Para Santos (2008), essa fragmentação é característica da ciência moderna e surgiu com base na revolução científica, ampliando-se nos séculos seguintes.

Essa “fragmentação”, é o resultado das diversas concepções que se fazem da Geografia nos mais diversos campos de estudos. Assim, o progressivo desenvolvimento da concepção de existência de uma organização natural da superfície terrestre que se estabelece a partir da inter-relação de seus elementos internos e externos promoveu uma série de formulações teórico-metodológicas nas ciências naturais e na Geografia (Física) (Bernardino *et al.*, 2018).

Assim, destaca-se que não é fácil uma definição, *a priori*, da Geografia, pela sua amplitude de conhecimentos. Por isso, a divisão da ciência em vários campos do conhecimento foi o resultado tanto do alargamento do conhecimento científico, [...] como do domínio da Filosofia positivista, cada vez mais proeminente com a expansão do capitalismo, visando formar especialistas que entendam o mais profundamente possível de áreas cada vez mais **restritas** [grifo nosso] (Andrade, 2008).

Dentro dessa visão percebe-se a importância da Geografia para a percepção dos diversos fenômenos sociais e naturais que ocorrem nas mais diversas escalas e espaços. Essa dinamicidade faz dela um contributo para a compreensão de cada fato que a ciência investiga, ou seja, a Geografia é uma Ciência dinâmica, que apresenta mudanças ao longo da sua trajetória evolutiva e impõe sempre uma reformulação nos paradigmas que norteiam cada ramo da Ciência (Souza & Pereira, 2017).

Para a percepção dessa “totalidade” e o conhecimento dos diversos campos da ciência, emerge a Teoria Geral dos Sistemas, outrora, concebida por Bertalanffy (1950). Posteriormente, ganha novas concepções como Teoria Geossistêmica, baseados nos estudos de Sotchava (1977), Bertrand (1972) e, que foram difundidos no Brasil, a partir das análises e publicações de Christofolletti (1999) e Tricart (1977). Sobre essa teoria, dar-se-á ênfase na próxima seção.

4.2. O conceito de Geossistema na Geografia

O presente estudo baseia-se na Teoria Geossistêmica, ou seja, uma teoria que derivou da Teoria Geral dos Sistemas, citada pela primeira vez, em 1950, por Ludwig von Bertalanffy (1901-1972).

No âmbito da Geografia, a Teoria Geossistêmica é caracterizada por autores, dentre eles, Jean Tricart (1965) que em seu trabalho expõe a classificação de unidades ecodinâmicas do meio ambiente. Porém, é com o russo Sotchava (1977), que surge a “Teoria Geossistêmica” quando este remete, 1963, a discussão em torno desta perspectiva, sua análise Geossistêmica que está associada aos sistemas territoriais naturais que se distinguem no contexto geográfico, constituídos de componentes naturais intercondicionados e inter-relacionados no tempo e no espaço (Prado Rosolém & Sampaio Archela, 2010).

Para entender a paisagem, na perspectiva da ciência geográfica, faz-se necessário compreender a dinâmica entre sociedade-natureza e as transformações espaciais que ocorrem e fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (Bertrand, 1972).

Essas transformações são explicadas por Souza (2015), ao afirmar que:

Os agentes sociais consomem o espaço, parcelam-no, transformam-no, implantam-no obras, vias de circulação, cidades e sistemas agrícolas. Todas essas ações são guiadas por diferentes perspectivas políticas que, na maior parte das vezes, priorizam os interesses econômicos. Portanto, no processo de apropriação do espaço para as atividades necessárias a certa organização social, o meio ambiente é profundamente modificado. Então, o viés espacial sempre estará acoplado à análise do meio ambiente na perspectiva geográfica. (Souza, 2015, p.17)

Isso mostra que as interações são correlatas e que os problemas ambientais, possuem vários agentes modificadores da paisagem, em especial as práticas sociais, entendidas no presente estudo como usos da terra.

Rodrigues (2001), ao analisar a Teoria Geossistêmica de Bertrand, afirma que a referida teoria, faz parte de um conjunto de tentativas ou formulações teórico-metodológicas da Geografia Física, cuja função era a necessidade de a Geografia lidar com a interdisciplinaridade, síntese, com a abordagem multiescalar e com a dinâmica, fundamentalmente, incluindo-se a respeito desta última (Rodrigues, 2001, p. 72).

Para Tricart (1977), o conceito de Sistema corresponde ao instrumento lógico para analisar os problemas ambientais, uma vez que possibilita uma conduta mais dialética entre a análise decorrente da ciência e das técnicas de investigação. Razão de ser, com base em sua

Obra intitulada *Ecodinâmica*, o autor propõe uma análise da estrutura da paisagem a partir da dinâmica dos ecótopos.

Ao conceituar as Unidades Ecodinâmicas, Tricart (1977) afirma que ela está integrada ao conceito de ecossistema. Para ele, tal conceito baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. Essa mesma prerrogativa, foi defendida nas concepções de Viktor Borisovich Sotchava que, de acordo com Travassos & Filho (2001), Sotchava define geossistema como:

[...] os sistemas naturais, de nível local, regional ou global, nos quais o substrato mineral, o solo, as comunidades de seres vivos, a água e as massas de ar, particulares às diversas subdivisões da superfície terrestre, são interconectados por fluxos de matéria e de energia, em um só conjunto (Travassos & Filho, 2001, p. 4).

Sotchava (1963) considera o Geossistema como uma “unidade natural de todas as categorias possíveis, do geossistema planetário (envelope geográfico ou ambiente geográfico em geral) ao geossistema elementar (fácies físicogeográfica)” (Sotchava, 1963, p.53).

Christofolletti (1999) destaca que os Geossistemas representam entidades de organização do meio ambiente. Para esse autor, os Geossistemas, representam ainda a organização espacial resultante da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza.

Partindo dessa premissa, percebe-se que o Geossistema, sendo essa relação mútua entre os elementos supracitados, convém ressaltar que a modelagem da paisagem (Christofolletti, 1999), expressa a relação de dependência dos meios físicos naturais e/ou sociais, quando ocorrida pela ação dos diversos agentes sociais envolvidos.

Para Suertegaray (2018), a Teoria Geossistêmica na Geografia Física, apresenta a ideia de totalidade. Segundo ela, os geógrafos, favoráveis a esta perspectiva, justificam-na dizendo que esta permite à Geografia Física avaliar a organização espacial levando em conta os componentes do quadro natural.

Empregou-se essa teoria na categoria de análise geográfica – paisagem, pois segundo Lima-dos-Santos & Girão (2016), ao propor um estudo sobre esta teoria, refletem que a teoria busca realizar suas análises através da relação de causa e efeitos dos elementos que compõem o sistema terrestre, bem como tenta explicar como esses elementos se materializam no tempo e no espaço.

De acordo com Lopes *et al.* (2014), o conceito de Geossistemas é um conceito relativamente recente na Geografia, sendo proposto na antiga União Soviética na década de

1960, e primeiro mencionado pelo russo Sotchava que, para ele, os Geossistemas são fenômenos naturais, embora todos os fatores econômicos e sociais afetem sua estrutura e peculiaridades espaciais.

Lopes *et al.* (2014) afirma ainda que, o Geossistema representou um amplo esforço promovendo e estimulando o estudo integrado da paisagem geográfica a partir das inter-relações dos elementos físico, biológico e antrópico. Assim, o autor destaca que o objetivo dos estudos Geossistêmicos, eram para obter dados e fazer correlações para entender a natureza com todos os seus componentes, buscando a integração dos diversos elementos que compõem os sistemas naturais fazendo emergir, no âmbito da Geografia.

Para ele, o conceito de Geossistemas, tem duas correntes distintas de pensamento: a corrente russa, cujo autor principal pode ser considerado Sotchava e a corrente francesa da qual Bertrand é o de maior expressão que, de acordo com Ross (2006), é por meio deste que se conhece o conceito de Geossistema no Brasil.

Buscando uma definição mais concisa, Bertrand (1972) utiliza a palavra Geossistema para se referir a uma das escalas espaço-temporal da paisagem, abrangendo a 4ª e 5ª ordem de grandeza na classificação de A. Cailleux e Jean Tricart. Neste momento, a concepção de Geossistema em Bertrand tem dimensões espaciais e temporais bem definidas (Cavalcanti & Corrêa, 2016).

Mais tarde, quando Bertrand passa a escrever artigos com o Georgiano Nikolai L. Beruchashvili, assume que seu conceito de Geossistema como uma dimensão de ordem de grandeza definida, é menos coerente que aquela da proposta de Sotchava (Cavalcanti & Corrêa, 2016).

Segundo Cavalcanti & Corrêa (2016), Georges Bertrand muda sua concepção do termo Geossistema, passando a compreendê-lo como uma entidade natural formada pelas relações entre os componentes da natureza e impactada pela ação da sociedade. Esta nova concepção, inclusive é utilizada para formular seu modelo Geossistema-Território-Paisagem (GTP).

Diante disso, coube então à Sociedade Russa de Geografia, a decisão de conceituar e propor, a unificação terminológica de conceitos e termos em Geografia Física, no que se refere ao Geossistema (Cavalcanti & Corrêa, 2016). Segundo os autores, Viktor Borisovich Sotchava (1905-1978), propôs em 1963, que o termo Geossistema fosse empregado para substituir o termo paisagem, que era comumente utilizado na então Geografia soviética. Para ele, o termo paisagem deveria ser substituído em função de sua polissemia e

seu uso em diversas disciplinas. Assim, o Geossistema seria mais adequado para especificar as formações naturais que se manifestam na superfície da terra (Cavalcanti & Corrêa, 2016).

Mas em se tratando da conceituação da Teoria Geossistêmica, Sotchava define-a como a “unidade natural de todas as categorias possíveis, do geossistema planetário (envelope geográfico ou ambiente geográfico em geral) ao geossistema elementar (fácies físico-geográfica)” (Sotchava, 1963). Considerando essa definição, Cavalcanti & Corrêa (2016) afirmam que essa conceituação é genérica, pois apresenta uma ampla dimensão da superfície da terra, diferentemente de Bertrand que espacializa e delimita o Geossistema.

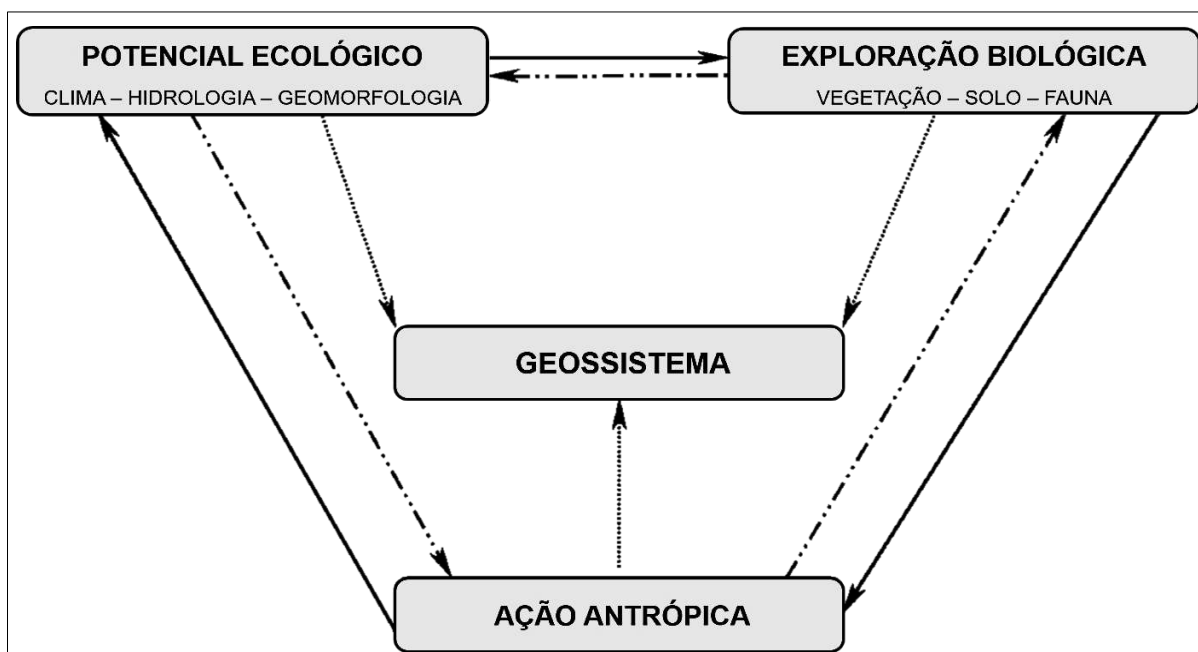
Bertrand (1972) considera-o como “unidade dimensional” variando entres alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. Para ele, nessa “unidade dimensional”, situam-se a maior parte dos fenômenos que interferem nos elementos da paisagem e que envolvem as combinações dialéticas que interessam ao geógrafo. Segundo o autor, nos níveis superiores só o clima e o relevo importam, seguida das grandes massas. Enquanto que, nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjuntos, ou seja, são elementos que disfarçam todas as combinações que engendram o conjunto de fatores e fenômenos determinantes nos níveis superiores.

Assim, o Geossistema corresponde a dados ecológicos relativamente instáveis, ou seja, é o resultado da combinação dos fatores geomorfológicos (natureza das rochas e dos mantos superficiais, dinâmica das vertentes, etc.), climáticos (precipitação, temperatura...) e hidrológicos (lençóis freáticos epidérmicos e nascentes, pH das águas, tempo de ressecamento dos solos, etc.) (Bertrand, 1972). Nessa concepção, Bertrand (1972) elabora um esquema teórico (figura 8), para expressar a abordagem Geossistêmica.

O referido autor (*op. cit.*, 1972, p. 147) destaca ainda que o Geossistema define-se, por um certo tipo de exploração biológica do espaço e, quando ocorre uma relação evidente entre o potencial ecológico e a valorização biológica, ou seja, há um equilíbrio, o Geossistema está em estado de clímax.

Nessa perspectiva, considera-se o Geossistema como um conjunto de eventos e combinações naturais e de diversos agentes sociais (engloba os diversos tipos de modificações na paisagem, ocasionadas pelos diversos agentes sociais) que se interligam em um determinado espaço e que fazem das unidades da paisagem conglomerados de elementos combinados entre si.

Figura 8: Esquema de uma definição da Teoria Geossistêmica, de acordo com o modelo proposto por Georges Bertrand.



Fonte: Bertrand (1972)

O Geossistema desde seu surgimento veio contribuído como mais uma forma de abordagem dos elementos naturais, fortalecendo a ciência geográfica, a partir da união das subciências em busca de entendimento da totalidade da natureza e sua dinâmica e, assim, o Geossistema representa, para a Geografia, uma classe que permite avaliar a organização espacial levando em consideração os componentes do quadro natural (Suertegaray, 2018).

Essa percepção do conceito de Geossistema, contribuiu para analisar a paisagem num contexto geral, abrangendo todos os aspectos naturais e sociais para compreender como as combinações ocorrem ao longo das modificações desta. Para compreender esse processo, discute-se o conceito e a importância da paisagem na Geografia, tendo-a como uma categoria de análise para essa pesquisa integrando-a como uma entidade que associa o meio físico, natural e social no Geossistema, tendo-o como base conceitual dentro da percepção de Bertrand (1972).

4.3. O conceito de paisagem na Geografia

Um dos grandes desafios da atualidade é relacionar a preservação da natureza com desenvolvimento econômico, os quais resultam em impactos diretos e indiretos no ambiente, conduzindo as paisagens modificadas, representadas pela degradação da natureza. O atual

modelo de desenvolvimento econômico gerou diversos impactos ambientais. O desaparecimento de grande parte da cobertura vegetal é o resultado da exploração econômica dos recursos naturais, de forma insustentável, que acabou substituindo as paisagens naturais por outras, principalmente com os diferentes usos da terra, que causaram transformações em sua fisionomia e processos.

O estudo da paisagem no campo da Geografia tem sido muito frequente nesses últimos anos. No entanto, as definições referentes à mesma são diversas, pois depende da visão e do conhecimento de cada pesquisador sobre o que é a paisagem. Existem diversas pesquisas voltadas à análise integrada da paisagem, enfatizando autores clássicos da Teoria Geossistêmica como Sotchava (1972); Bertrand (1972); Tricart (1977); Monteiro (1996) e obras mais recentes de Cavalcanti (2010; 2013; 2014) que contribuíram imensamente na Geografia. Para tanto, fez-se a escolha da categoria analítica paisagem nesta pesquisa, como forma de subsidiar os impactos ocasionados pelos diferentes usos da terra.

Várias foram as tentativas de definições de paisagem, desde as escolas francesas, germânicas, soviéticas etc. Uma definição bastante aceita pela comunidade científica é a de Passo (2003), ao trazer o significado etimológico da paisagem – *pagus*, derivada do *latim* – num sentido de lugar ou setor territorial. Por outro lado, dentro da perspectiva de Milton Santos, a paisagem é tudo aquilo que nós vemos, que a nossa visão alcança (Santos, 1988).

Os estudos de paisagem são muito focados na descrição das formas físicas da superfície terrestre, foram inseridas progressivamente aos dados da transformação humana do ambiente no tempo, com a individualização das paisagens culturais face às paisagens naturais, sem perder de vista as interligações mútuas. A ação humana é fator decisivo para a transformação e vários autores reconhecem que as paisagens naturais não existem (Barata, 2011; Conti, 2014).

Em 1968, Toulouse George Bertrand propôs um conceito bastante completo de paisagem. Para ele, a paisagem “é o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, em uma determinada porção do espaço, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais reagindo dialeticamente, uns sobre os outros fazem dela um conjunto indissociável em perpétua evolução”. A paisagem, para esse autor, expressa o modelo teórico do Geossistema, formado por três componentes: potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica (Barata, 2011; Conti, 2014).

Para fazer a descrição da paisagem e compreender sua remodelagem, a melhor aproximação do problema é fornecida pela vegetação que se comporta sempre como verdadeira síntese do meio (Bertrand, 1972).

A paisagem como uma categoria de análise, está para além da concepção diversificada que cada autor busca desenvolver em suas pesquisas. Pretende-se abordar o termo paisagem não como sinônimo de *complexidade* (Morin, 2015), mas como análise dos processos dinâmicos e interacional entre os diferentes espaços sociais e naturais, os sejam, entre a ação e intervenção dos diferentes agentes sociais envolvidos na paisagem.

O termo ou a categoria “paisagem”, tem sido muito empregado/a no campo da pesquisa geográfica, na atualidade. Observa-se que o termo muitas vezes tem sido empregado a seu bel prazer, na maior parte das vezes anexando um qualificativo de restrição que altera seu sentido (Bertrand, 1972).

A paisagem é amplamente abordada na Geografia e é estabelecida como um conjunto de forma que caracteriza uma parte da superfície terrestre. Devido as suas várias abordagens, essa categoria privilegia várias dimensões de matrizes epistemológicas podendo ter uma dimensão morfológica e outra fisiológica (Passos, 2006). A paisagem é definida pela sua morfologia. As formas resultam de dados do ambiente natural e as consequências da intervenção humana imprimindo sua marca sobre o espaço (Passos, 2003).

Segundo Ab’Saber (2003), a paisagem é a herança dos processos fisiográficos e biológicos, e o patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação das comunidades.

Troppmair (2004) discute sobre a paisagem quando analisa que a estrutura, as inter-relações e a dinâmica que ocorrem em determinada área formando um Geossistema, demonstrando a fisionomia do espaço, apresentando uma paisagem vista como um sistema e uma unidade integrada.

Para Tricart (1977), a paisagem é “[...] uma porção do espaço perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e de ações das quais, num dado momento, só percebemos o resultado global”. Nesse sentido, Bertrand (1972), acentua que é preciso procurar talhar diretamente a paisagem global tal qual ela se apresenta. Para ele, a paisagem aparece como um objeto de estudo bem definido que apela para um ponto de vista metodológico.

Por outro lado, Claval (2004) busca uma definição para o conceito de paisagem que, segundo ele, surgiu no século XV, nos Países Baixos, aplicando-se aos quadros que representam um pedaço da natureza, tal como a percebemos. Para ele, o termo Paisagem, provém do alemão como uma “forja” do termo *Landschaft*, e o inglês, *landscape*, para traduzir o novo termo holandês. Segundo o autor, o italiano transcreve a ideia de *pays* (região; pátria, lugar de

nascença) que vem da raiz *land*, criando *paesaggio*, de onde deriva o termo francês, cujo emprego verificou-se desde 1549.

Diante dessas análises referentes ao conceito de paisagem, é importante destacar a visão de Bertrand (1972) que, segundo ele, para analisar a paisagem, é necessário espacializá-la, ou seja, trabalhar em escalas que sejam, compatíveis com a escala humana e o Geossistema é uma boa base para a organização desse espaço de análise da paisagem. Para ele, a melhor aproximação do problema é fornecida pela vegetação que se comporta sempre como verdadeira síntese do meio.

Notadamente, o estudo da paisagem pelos autores supracitados e outros não mencionados nesta análise, buscaram determiná-la, tanto sua homogeneidade, quanto sua heterogeneidade, ou seja, levaram em consideração os aspectos naturais (relevo, clima, água, vegetação, solo, fauna), quando as ações humanas, sua relação com o ambiente ao longo de sua história. Essa relação natureza e sociedade, têm dinâmicas específicas, assim como suas inter-relações e esses aspectos não tornam a paisagem homogênea.

Foi nessa concepção que se observou a vegetação da área de estudo, analisando a interação da paisagem com os diferentes usos da terra, numa perspectiva de análise integrada da paisagem que alteram completamente a fisionomia desta. Assim, a próxima seção apresenta essa interação da paisagem com os diferentes usos da terra.

4.4. A paisagem e os usos da terra

A concepção de paisagem, apresentada sob a percepção de vários autores acima citados, contribui para a compreensão dos estudos geográficos, tratando dessa relação que ocorre com as diferentes modificações na superfície da Terra, ocasionada pelos diversos agentes sociais. Assim, a paisagem traz importantes percepções dos estudos ambientais, em consonância com os diferentes tipos de usos da terra, revelando a fragmentação desta, associada às intensas transformações frente aos diferentes fatores modificadores da paisagem.

A paisagem apresenta diferentes tipos de uso da terra. Nessa concepção, os avanços dos usos da terra, é perceptível diante das intensas transformações que ocorrem ao longo da área de estudo. Um dos principais fatores que contribui para esses avanços é a topografia plana, ou seja, o relevo é um elemento determinante para a escolha do uso da terra (Ferreira, 2023), pois favorece a mecanização dos solos, sem exigir muito dos maquinários no processo de aração e transporte de equipamentos necessário para o uso agrícola.

O intenso uso da terra faz-se mediante a eficiência produtiva do sistema agropecuário, diante dos avanços tecnológicos que tem suscitado ao longo das últimas décadas. Assim, a expansão das fronteiras agrícolas, frente às intensificações de usos, são decorrentes da combinação de diferentes fatores, tais como, o aumento no investimento de capital e de estrutura física, a incorporação de modernização tecnológica, a substituição da mão de obra humana por mecanização e equipamentos mais automatizados, e na região amazônica, o aumento da concentração das terras (Souza, *et al.* 2017).

Outro fator que contribui para a expansão agrícola, é o baixo custo das terras, comparadas às terras do Sul do país (Embrapa, [s.d.]). De acordo a Embrapa, isso levou à expansão agrícola para áreas de cerrado, principalmente em campos de pastagens subutilizadas, e só foi possível pela disponibilidade de tecnologias para viabilizar os plantios nas condições locais, ou seja, os sistemas de produção são intensivos desde a implantação e buscam alta produtividade (Embrapa, [s.d.])².

Na área de estudo, as intensas transformações ocorridas na paisagem, decorrentes dos diversos usos e ocupação da terra, provém dos avanços agrícolas, ocorrido através da fronteira agrícola, denominada de MATOPIBA (acrônimo criado com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), caracterizada pela expansão de uma fronteira agrícola baseada em tecnologias de alta produtividade (Miranda *et al.*, 2014). De acordo com o autor, essa ocupação caracterizou-se inicialmente, por um uso agropecuário das terras de baixa produtividade, tanto no caso dos pequenos agricultores, como nos grandes empreendimentos da pecuária.

Miranda *et al.*, 2014 destaca ainda que os avanços se deram diante dos campos de pastagens nativas, extensivas e tradicionais, em áreas de campos e cerrados, que comumente são substituídas por culturas anuais intensificadas com novas tecnologias de produção, incluindo a irrigação.

Isso mostra que os usos e ocupação, com a expansão agrícola, acabam modificando a paisagem. Por isso, Ferreira (2023) destaca que, ao analisar a paisagem, é fundamental observar os seus constituintes, incluindo os solos, que sustentam os elementos da superfície, uma vez que as classes de solos podem influenciar nos usos da terra, codificando, favorecendo, dificultando ou restringindo determinados usos da terra na paisagem.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa: Sobre o Matopiba. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>

Nesse sentido, os solos e seus atributos são componentes da paisagem, evoluindo ao mesmo tempo, apresentando registros dessa última ao longo do tempo em suas características (Pereira, 2020), favorecendo importantes ferramentas para os estudos da paisagem e as interações que acabam remodelando-a com os diferentes usos e ocupação da terra.

Os atributos dos solos são importantes elementos para a percepção da paisagem. Para compreender a relação solo-paisagem e a sua aplicação, é necessário compreender os dois termos em questão separadamente, para buscar o caminho entre eles e as formas como são analisados em conjunto (Pereira, 2020). Para este autor,

As características dos solos e seus atributos são ferramentas importantes para estudos que buscam relacionar os mesmos com a superfície em que estão inseridos. Considerado como corpo tridimensional e dinâmico, a sua variação ao longo do tempo é acompanhada pelas mudanças na paisagem, apontando a relação mútua entre eles. Por tanto, os solos estão sujeitos a mudanças decorrentes das condições estabelecidas pelo local em que estão inseridos. Destas mudanças pode-se destacar as alterações no relevo; alternância hídrica superficial e de subsuperfície; e também não descartando as alterações impostas pela ação antrópica, muito atuante em regiões em que o solo é o componente fundamental para o desenvolvimento econômico, social, político e cultural (Pereira, 2020).

São essas mudanças que fazem a modelagem da paisagem, na interação com os diferentes usos e ocupação da terra, como resultados das ações dos diversos agentes sociais, principalmente quando o que predomina são os interesses capitalistas em detrimento do “desenvolvimento econômico, social, político e cultural”. Esses fatores são importantes para compreender as influências na dinâmica, composição e funções da paisagem, frentes aos usos da terra, como principais condicionantes da remodelagem da paisagem.

Frente a essas transformações e como elas tem ocorrido de forma acelerada, sobretudo nos últimos anos no município de Santana do Maranhão, faz-se necessário este estudo, analisando os solos e suas correlações com os usos da terra (soja, milho, campo de pastagem e produção de carvão vegetal), na área de estudo, estabelecendo relações com os atributos dos solos e as mudanças resultantes das condições dos usos em que estão submetidos, como também compreender as potencialidades e fragilidades desses solos, como parte dos objetivos deste estudo.

Ao propor um estudo frente à análise e síntese da paisagem e sua correlação com os solos, Bertrand (1972), traz uma percepção da “*movilidade biológica*” (dinâmica natural da vegetação e dos solos, intervenções antrópicas, etc.), que se encontram frente aos eventos detectados na área de estudo, através do trabalho de campo. São combinações – solo – paisagem –, resultantes dos diversos tipos de usos que acabam remodelando esta paisagem, a qual

Bertrand (1972) chama de Geossistema, definindo-o como um “complexo geográfico e a dinâmica do conjunto”.

São essas combinações que fazem da paisagem um verdadeiro campo de análise nas pesquisas geográficas, sobretudo quando se trata de estudos voltados para o ambiente e as interações do ser humano com os diferentes usos. Assim, a percepção da paisagem diante dos usos dos solos e seus efeitos, são detectados nesta, em decorrência do uso de grandes extensões de área e de processos de concentração de terra, implicando na produção de paisagens com baixa diversidade de usos e coberturas da terra (Souza *et al.*, 2017).

Silva *et al.* (2022) destaca que o entendimento dos padrões de mudanças do uso e ocupação da terra pode ser de grande auxílio para a compreensão do grau de modificação da paisagem pelas atividades humanas e permite a constatação de variações em sua naturalidade. Para ele, as Geotecnologias consistem em uma ferramenta que possibilita a realização dessas análises, visto a obtenção de informações dos usos e cobertura da terra mediante o emprego de imagens de satélite e a possibilidade de análises temporais, além da utilização de modelagens espaciais e verificação da implicação dos padrões de uso (Silva *et al.*, 2022, p. 2).

Para compreender a dinâmica dos usos, faz-se necessário o uso das Geotecnologias e a sua importância para avaliar os padrões de usos na área de estudo. O Sistema de Informações Geográficas – SIG's (ou GIS – Geographic Information System), são importantes ferramentas no auxílio das pesquisas, permitindo a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados por possibilitarem a automatização da produção de documentos cartográficos (Assad, 2003).

Esses dados contribuem com elevado nível de aproximação para observação da superfície terrestre, representada cartograficamente como base de mensuração das informações e dados presentes nas análises propostas pelo investigador, gerando assim, a representação gráfica daquela investigação que são os mapas. Os resultados obtidos, potencializam a observação do investigador para que este possa tomar as decisões cabíveis diante do planejamento ambiental ou de outra natureza, dependendo do objetivo do estudo.

4.5. A importância da conservação dos solos

Os solos têm importante função para a vida no planeta. Nessa percepção, Rodrigues (2018), destaca essa importância, o papel e a função do solo para os diversos organismos vivos na terra:

“O solo ampara o desenvolvimento dos vegetais, principalmente fornecendo sustentáculo, água e nutrientes para as raízes que, em seguida, distribuem-se para a planta. Os atributos dos solos podem originar as formas de vegetação que neles se desenvolvem, sua produção e, indiretamente, podem determinar a quantidade e as espécies animais que são sustentadas por essa vegetação. Enquanto que, as propriedades dos solos definem a distribuição da água nas camadas da terra.

Outra função fundamental que o solo exerce é o desempenho ativo na ciclagem de nutrientes e destino que se dá aos indivíduos, animais e restos vegetais que estão se decompondo na superfície da terra. O solo é, também, o habitat para muitos organismos que afetam as suas propriedades, como a porosidade, que é responsável pela circulação e manutenção de água e ar no solo. Também os organismos são de alguma forma influenciados pelas características do solo” (Rodrigues, 2018, p. 7).

De igual modo, compete a sociedade sensibilizar-se e compreender que, para manter o equilíbrio na Terra, é preciso ter essa responsabilidade para preservar o ambiente mantendo sempre a diversidade deste em plena harmonia. Essa percepção demonstra que, conhecer as propriedades físicas, química, orgânica e mineralógica dos solos são fatores que contribuirão para o planejamento ambiental e as tomadas de decisões para a manutenção da biodiversidade e da vida no planeta.

Desta forma, a densidade do solo (também conhecida por *densidade aparente*), densidade de partículas, a porosidade e o teste de infiltração, são importantes parâmetros para compreender a dinâmica pedológica frente aos diferentes usos. O IBGE (2015) destaca que,

A determinação da densidade aparente do solo é recomendada em praticamente todos os tipos de levantamentos, por ser de grande relevância sob vários aspectos. Tem implicação direta com a morfologia do solo e, por conseguinte, na gênese de cada tipo de solo. Indiretamente, reflete o comportamento dos solos no tocante à porosidade, permeabilidade, compactidade, taxa de infiltração, desenvolvimento de raízes, indicação de presença de material vulcânico no solo ($< 0,85\text{g/cm}^3$), grau de intemperização, sendo fundamental ainda por sua aplicação direta para cálculos quantitativos, os mais diversos (IBGE, 2015, p. 155).

Kiehl (1979), destaca que a densidade do solo é definida através da sua relação existente entre a massa de uma amostra seca a 110°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas do solo. Para o autor, essa densidade aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam a compactação reduzindo a porosidade desses solos, dependendo ainda da natureza, das dimensões e da forma como estão distribuídas essas partículas no solo.

No que se refere à densidade real ou densidade de partículas, Kiehl (1979) considera-a como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solos e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas. Suas características são um reflexo da natureza química e mineralógica de seus constituintes, podendo ser dispensada para solos minerais ricos em sílica

ou em quartzo (areias), utilizando-se o valor universal de $2,65\text{g/cm}^3$. A determinação é feita pelo método do balão volumétrico com o uso de álcool etílico, através de amostras deformadas (IBGE, 2015).

Para Kiehl (1979), destaca que a constância dos dados da densidade de partículas, são importantes para sua caracterização, uma vez que a relação da densidade real, com as plantas podem ser consideradas como sendo indireta e os valores altos ou baixos encontrados estão ligados à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, podendo influenciar diretamente no comportamento das plantas. Por outro lado, Corsini & Ferraudo (1999) destacam que o atributo do solo é afetado pela retirada da cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso e manejo do solo.

Já a porosidade, exprime o volume total de poros contidos na amostra, admitindo-se que essa condição seja igual à do solo onde foi amostrado e é importante para se ter ideia tanto de sua permeabilidade quanto da sua capacidade de retenção de água e de nutrientes aplicados. Solos com grande quantidade de macroporos, onde a maior parte da água é retirada por ação da gravidade, não são os ideais (IBGE, 2015). Kiehl (1979) considera a porosidade como sendo o volume de vazios ou ainda o espaço do solo não ocupado pelo conjunto dos componentes orgânicos e inorgânicos. Para ele (*op. cit.*), a porosidade depende da textura e da estrutura dos solos, sendo determinada pelas partículas que variam de tamanho, forma, regularidade e tendência de expansão pela água, os poros diferem-se quanto à sua natureza, à forma, comprimento, largura, tortuosidade ou outras características.

O teste de infiltração é o processo de movimentação da água, da superfície do solo para o seu interior, considerando-se a relação entre a lâmina d'água que se infiltra e o tempo gasto, determina-se a velocidade de infiltração (IBGE, 2015). Considera-se importante e necessário nos levantamentos pedológicos de caráter executivo que visam à obtenção de dados básicos para irrigação e manejo dos solos, visando definir as técnicas de conservação destes e a seleção de métodos e técnicas para a irrigação (IBGE, 2015).

De acordo com Eltz; Amado; Lovato, (2005) a ciência da conservação do solo recomenda um conjunto de medidas, cujo objetivo é a manutenção ou recuperação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, estabelecendo critérios para o uso e manejo deste, de forma a não comprometer sua capacidade produtiva. (Pes, 2017) destaca que as medidas de conservação têm por objetivo proteger o solo, evitando o desenvolvimento dos processos erosivos, aumentar a disponibilidade de água e nutrientes, bem como promover a atividade biológica.

Portanto, a importância da conservação do solo consiste em dar o uso e o manejo adequado às suas características químicas, físicas e biológicas, visando à manutenção do equilíbrio ou recuperação (Eltz; Amado; Lovato, 2005). É através do planejamento e da aplicação correta das práticas de conservação do solo, que mantêm-se o potencial produtivo deste e evita-se problemas como a erosão e a compactação (Pes, 2017) e posteriormente dificulta a penetração do sistema radicular das plantas nestes solos, devido à sua compactação com os usos excessivos.

Desse modo, solo e água são elementos fundamentais de sustentação dos sistemas agrícolas e naturais, cuja conservação e manejo adequado contribui para a mitigação de impactos ambientais e desenvolver novos insumos e sistemas de produção, capazes de promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica pelas gerações presentes e futuras (Prado; Turetta; Andrade, 2010).

Nessa percepção, para fazer uma avaliação das potencialidades desses solos, dada à sua importância, como ainda para fazer o planejamento diante da aptidão agrícola, têm-se utilizado o geoprocessamento como uma importante ferramenta para analisar e manipular os dados e as informações coletadas pelo sensoriamento remoto. Sobre essa temática, far-se-á uma análise na seção a seguir, dada à sua importância frente aos estudos geográficos.

4.6. O Geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) nos estudos geoambientais

O termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas, influenciando de maneira crescentes, as áreas de Cartografia. Nos países de grande dimensão e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento é adquirido localmente (Câmara; Davis, 2006).

Assim, os instrumentos computacionais que são utilizadas para a prática do Geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, tornando possível a automatização da produção de documentos cartográficos (Assad, 2003). Esse banco de dados é responsável por armazenar as informações processadas pelo pesquisador, diante das análises de gabinete, campo e/ou laboratório. Pode-se

dizer que o SIG integra uma única base de dados, informações específicas provenientes de dados cartográficos, dados de censos e cadastros urbanos e rurais, imagens de satélites, redes e modelos numéricos de terrenos (Cavallari *et al.*, 2007).

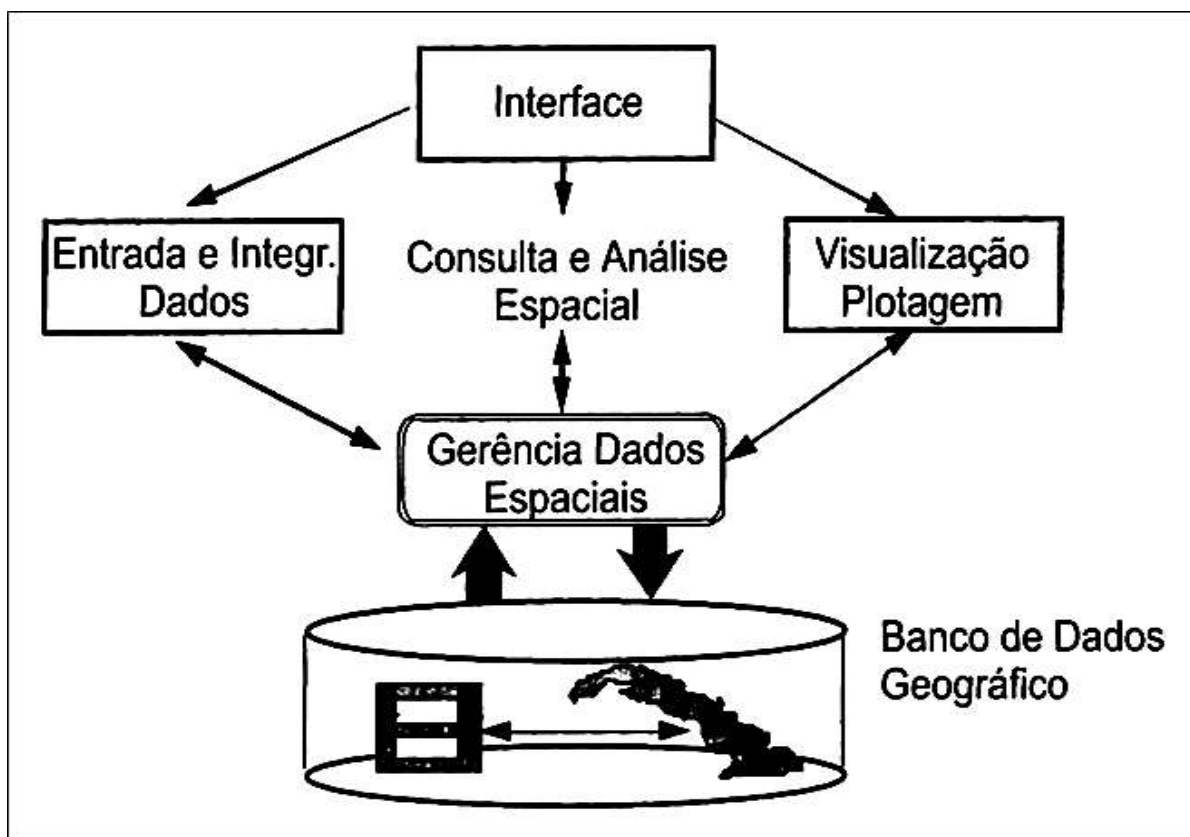
O Sistema de Informações Geográficas, como um sistema de tratamento computacional de dados geográficos, trata de grandes temas como Agricultura, Florestas, Cartografia, Cadastro Urbano e Redes de Concessionárias (Água, Energia e Telefonia) (Assad, 2003), sendo que existem três grandes maneiras de se utilizar o SIG: como ferramentas para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; e como banco de dados geográficos, com funções de armazenar, processar e recuperar informações espaciais (Cavallari *et al.* 2007).

Rosa (2009), destaca que a evolução dos SIG's esteve diretamente ligada às atividades de **Geoprocessamento**, sendo em muitos casos tratados como sinônimo, mesmo sendo atividades distintas. Desse modo, compreende-se os Sistemas de Informação Geográfica como sendo sistemas computacionais criados para armazenar e processar informação geográfica, voltados a melhorar a eficiência e efetividade dos tratamentos espaciais de dados (Longley *et al.* (2013).

Para Cowen (1988), o SIG é um sistema de suporte que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas. Nessa percepção, Câmara & Davis (2006), apresenta um módulo, uma estrutura geral de um SIG (figura 9) formado pelos seguintes módulos: Interface com o usuário; Entrada e integração de dados; Funções de processamento gráfico e de imagem; Visualização e plotagem; e Armazenamento e recuperação de dados. Essa proposta indica a relação entre os principais componentes implementados de forma distintas (Câmara; Davis, 2006), operacionalizados pelo geoprocessamento das informações, gerando assim um banco de dados operacionais.

Destaca-se que o Sistema de Informações Geográficas vem sendo uma importante ferramenta para os estudos geográficos, sobretudo no que se refere ao planejamento territorial e educação ambiental, às tomadas de decisões frente aos diversos fenômenos e fatores que ocorrem, relacionados aos diferentes usos da terra. Assim, Câmara & Davis (2006), destaca que o principal objetivo do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as interações entre diferentes fenômenos, desde as análises de uma região geográfica para fins de zoneamento agrícola, como para determinar qual a contribuição de cada uma delas para a obtenção de um mapa resultante, escolhendo as variáveis explicativas seja para os solos, a vegetação e/ou a Geomorfologia.

Figura 9: Módulos de caracterização dos componentes de um SIG, proposto por Câmara & Davis (2006).



Fonte: Câmara & Davis, 2006.

A relação entre Geoprocessamento e o sensoriamento remoto, é que o primeiro analisa, processa e manipula as informações dos dados coletados à distâncias, pelo segundo, sem o contato direto com o objeto. Com o advento das tecnologias e com o uso de imagens de sensoriamento remoto, tornou-se possível uma avaliação dos impactos ambientais, para a identificação de áreas degradadas como também para o planejamento ambiental. Assim, é possível fazer uma análise dos usos e cobertura da terra, a interação destes com a modificação da paisagem ao longo de diferentes intervalos de tempo.

Para Florenzano (2002), o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagem e outros tipos de dados da superfície terrestre, através de captação de registros refletida ou emitida pela superfície. Segundo a autora, o termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados e remoto, que significa distante e sua obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Destaca-se que, a percepção das informações através do sensoriamento remoto, visa uma observação e a representação da superfície terrestre elevando grau de importância na

organização das sociedades, pois, desde tempos remotos as informações espaciais representadas graficamente por cartógrafos têm sido utilizadas por guerreiros, navegadores, geógrafos e pesquisadores, auxiliando os processos de tomada de decisões (Cavallari *et al.*, 2007).

Fantinel e Benedettio (2020), Silva e Zaidan, (2010) destacam que o Geoprocessamento consiste em uma ferramenta eficaz na precisão, confiabilidade e velocidade na geração de dados relativos à avaliação ambiental e permite a modelagem da realidade ambiental, tornando viável a manipulação de grande volume de dados, o seu tratamento e a disponibilização rápida de um universo de informações.

Veiga e Silva (2004) ressaltam que, o Geoprocessamento possibilita a [...] espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e no processamento de dados necessários às análises, [...] possibilitando o acompanhamento, monitoria do desenvolvimento ou da implantação dos planos de desenvolvimento, por meios de imagens de satélite, mapas interativos permitindo medir a espacialização da extensão dos efeitos das políticas e ações de desenvolvimento do espaço em questão em tempo real.

Noutra percepção ressalva-se que o Geoprocessamento pode ser entendido ainda como um ramo da ciência que estuda o processamento de informações georreferenciadas, em que são utilizados aplicativos, equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados (Piroli, 2010).

Desta forma, compreende-se que as atividades que envolvem o Geoprocessamento de dados são desenvolvidas por sistemas específicos, identificados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sendo este configurado como softwares que agrupam e vinculam objetos gráficos a estruturas de um banco de dados, permitindo a realização de inúmeras análises espaciais e geoambientais (Fantinel e Benedettio, 2020).

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG's são importantes ferramentas para os estudos ambientais por permitirem essa aproximação do pesquisador com a realidade prática e multifuncional, analisando espacialmente as informações, coletando e armazenando os dados por ele observado em sua pesquisa. Nessa percepção, Cavallari (*et al.* 2007) destaca que,

[...]os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possibilitam a análise dos impactos ambientais provocados por contaminação e perdas do solo, visando identificar áreas com maiores riscos e danos do ponto de vista ambiental. Considerados como uma das principais ferramentas do geoprocessamento, os SIG permitem a obtenção qualitativa e quantitativa de dados computacionais geográficos possibilitando a gestão dos recursos e aplicação de técnicas otimizadas baseadas em diagnósticos georreferenciados.

De acordo com Cavallari (*et al.* 2007), com o advento dos computadores, no início da década de 60, a produção de cartografia deu o seu maior passo, originando os primeiros SIG's, os mapas podem ser desenvolvidos, com base em imagens geradas por satélite, apresentando maiores informações e precisão na combinação do ficcional com o real.

O Sistema de Informação Geográfica, tem importante papel no desenvolvimento das pesquisas geográficas por apresentar essa capacidade do pesquisador analisar os processos modificadores da paisagem, desde a percepção dos eventos naturais como, principalmente os geográficos, ou seja, aqueles ocasionados pela interação do ser humano na natureza. Esses são os resultados da evolução da ciência que trouxe inúmeros benefícios tecnológicos, contribuindo com o desenvolvimento das mais diferentes áreas de conhecimento, por exemplo, o Geoprocessamento, a Cartografia e a análise espacial (Cavallari *et al.* 2007).

Portanto, destaca-se que o SIG é um importante aliado para análises ambientais, demonstrando um grande potencial e uma evolução primordial nos estudos geográficos, principalmente com a modernização das tecnologias, sobretudo com os satélites utilizados para o sensoriamento remoto, que capturam imagens de alta resolução, permitindo ao analista/pesquisador, desenvolver mapas e análises precisas da área observada. Assim, julga-se necessário aplicar o uso dos Sistemas de Informações Geográficas, através do Geoprocessamento para avaliar os diferentes usos e cobertura da terra, como para fazer uma caracterização da área de estudo.

5. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

5.1. Histórico de usos e ocupação da terra no Maranhão

A região Nordeste possui evidência no cenário nacional, no que desrespeito ao uso e ocupação da terra. Desta vez, não mais com a produção de açúcar, mas com a expansão da bovinocultura que tendia a atender a demanda do mercado consumidor nacional. Sua base econômica é a pecuária e continuam sempre à frente nessa conquista os estados da Bahia e Pernambuco. A expansão se dá ao longo do curso do rio São Francisco em direção à área de mineração, cuja povoação deram-se em torno das minas, favorecendo a expansão da bovinocultura e servirá de mercado para a carne produzida nas fazendas do alto rio (Prado Júnior, 1981).

Com os avanços das fazendas de gado para o Norte, no fim do século XVII, o interior do atual estado do Piauí começa a ser ocupado, pois apresenta condições naturais, “pluviométrica mais elevada e melhor distribuída”, cursos d’água permanentes e transbordo do rio. Esses fatores foram cruciais para que o estado se tornasse tão logo o maior produtor de carne do Nordeste.

Transcorrendo o rio Parnaíba, essa confluência chega ao Maranhão, como dito no início desta seção, subindo no litoral pelo rio Itapicuru. Para leste também transbordaram no Ceará, onde o movimento confundir-se-á com o outro que, em direção contrária, vinha de Pernambuco acompanhando grosseiramente o contorno do litoral, completando-se assim a ocupação de todo o interior nordestino. O gado nele produzido abastece, sem concorrência, todos os centros populosos do litoral, desde o Maranhão até a Bahia (Prado Júnior, 1981).

Em síntese geral, destaca-se que os processos de uso e ocupação da terra no território brasileiro, desde à época da chegada dos portugueses, espanhóis, ingleses, franceses e holandeses ao Brasil, é marcada com a extração do pau-brasil que é traficado para a Europa por portugueses e franceses que logo começaram a disputa pelo produto na costa brasileira. A madeira servia para a construção e a tintura.

Após anos de exploração da madeira, deu-se início à produção do açúcar e, para isso, plantaram grandes lavouras de cana que, além do açúcar, era produzido também a aguardente. Este por sua vez, ficou proibida a produção pela coroa portuguesa para não concorrer com a produção do vinho de Portugal. Em seguida, houve a produção do tabaco que não teve muita expressividade, a mineração do ouro e diamante a produção do carvão e, por

fim, a produção do café que nesta última parte do século XVIII começa a ser cultivado em larga escala (Prado Júnior, 1981).

Os usos no Maranhão remontam à criação de gado, nas grandes fazendas que circundam o rio Itapecuru. No início do século XVIII, destaca-se expressivamente a produção de algodão que é exportado para o exterior, tendo seu apogeu a partir de 1760, sendo muito importante para a economia brasileira, até que esta cultura enfraquece a produção pelos preços baixos depois de espalhar-se pelo Brasil, a começar, mais uma vez pelos estados da Bahia, Pernambuco e deliberar outros estados da região Sul do país. Após a decadência na produção algodoeira, devido aos baixos preços para a exportação, o estado se destaca na produção do arroz que figurou entre as principais exportações brasileiras, representando um importante papel na economia do país.

Com o objetivo de apresentar como os avanços dos usos e ocupação da terra se deram ao longo do processo histórico que circundou a economia do estado, destaca-se Bandeira Tribuzi (2011) ao afirmar que o processo de povoamento em solo maranhense deu-se quando os franceses fundaram São Luís em meados do século XVII, com o objetivo de criar uma França equinocial. Após essa tentativa, começa-se o povoamento pelos portugueses, na tentativa de substituir os franceses na “Fortaleza-Feitosa de São Luís”. Trouxeram, ao longo do século, além das tropas, alguns casais de açorianos para ocupar as terras ludovicenses. Além disso, começaram-se as instalações de engenhos no vale do Itapecuru para o processamento da cana-de-açúcar.

Diante dos usos, outro destaque que se dá são as coletas de produtos extrativistas³, a produção do açúcar e aguardente, da mandioca, a expansão da pecuária para o abastecimento de carne, exportação de couro e o florescimento algodoeiro, a partir de 1822. Para este último, canalizou uma renda considerável para Portugal, deixando apenas as marcas arquitetônicas “apreciáveis”, mas que não tem sentido econômico para São Luís e Alcântara. Os números dos demais produtos, tornam-se expressivos e fortalecem a economia interna do estado. Destaca-se nessa empreitada que nos municípios de Itapecuru-Mirim, Alcântara, Pastos Bons e Carolina, foram totalizando mais de 120 fazendas (Tribuzi, 2011).

De acordo com o autor (*op. cit.*, 2011), a loucura da época (a incerteza) era transformar o Maranhão agrário em um Maranhão industrial. Ao certo que, ao final da 1895, as “vertigens das fábricas” (o que restavam das fábricas no Maranhão) (Viveiros, 1954), chegam

³ Bandeira Tribuzi não especifica quais foram esses produtos. Porém, Prado Júnior (1981) especifica que na região amazônica, esses produtos foram exclusivamente o cacau e a extração da borracha.

à expansão com números significativos como apresentado na tabela 3, traduzidos em quantidades os “avanços” das indústrias no estado do Maranhão, no final do século XIX.

Tabela 3: Indústrias e suas respectivas quantidades no Maranhão em 1895.

INDÚSTRIA	QUANTIDADE
de fiação de tecido	10
de fiação de algodão	1
de tecido de cânhamo	1
de tecido de lã	1
de cerâmica	1
de pilar arroz	4
de pilar arroz e fazer sabão	2
de sabão	1
de açúcar e aguardente	2
de meias	1
de fósforo	1
de chumbo e prego	1
de calçados	1

Fonte: Tribuzi (2011). Adaptação própria pesquisa (2024)

No entanto, essas fábricas não duraram muito tempo, pois o enfraquecimento do mercado, a falta de incentivo do governo e a baixa nos preços de exportação, fizeram com que muitas dessas indústrias viessem a falir ou migrar para outros setores de serviços.

De modo geral, as mudanças no uso e cobertura da terra começam a ganhar novas faces, a partir de 1950, quando se inicia as ligações rodoviárias de todas as regiões do país, permitindo que as integrações econômicas entre os estados se ampliassem. Por outro lado, facilita as migrações que tendem a ocupar áreas mais interioranas, abrindo novas fronteiras agrícolas, sobretudo nas terras devolutas. Com isso, essas migrações interestaduais e infra estruturais, permitem o deslocamento para as matas e margeiam à esquerda do rio Itapecuru, os vales do rio Mearim, Pindaré, Tocantins e Turi que se tornaram o eixo principal da produção do estado que, até então eram os vales do Itapecuru e Parnaíba.

Essas novas fronteiras agrícolas são remodeladas pela pequena unidade familiar que se propuseram a expansão da produção de lavoura, (principalmente a mandioca que era produzidas em terras cansadas), os cereais ensejando-se pela derrubada das matas, a expansão da área dos cocais e a produção de extrativismo do babaçu. Nesse período, o Maranhão se

destaca como grande exportador de arroz e de óleo/torta de babaçu para o Norte, Nordeste e Centro-Sul (Tribuzi, 2011).

Na década de 1960, se expande o avanço pioneiro de uma pecuária menos extensiva, estimulada por um incentivo fiscal do governo do estado, propondo de 10 a 12 % da receita para a exploração dessas áreas devolutas. Às medidas adotadas, destacam-se aquelas que favoreceram a “disponibilidade de terras a baixo custo” e a “exploração das matas e expansão da exploração nas matas dos cocais”. Outras medidas foram impostas. Entretanto, evidencia-se apenas estas por estarem relacionadas com as mudanças nos usos e cobertura da terra no estado do Maranhão. Na década de 1970, as poucas fábricas que restavam, quebraram o monopólio da indústria do óleo, destacando-se o Moinho de trigo, CEPALMA (celulose e papéis), ITAPECURU (cimento) e a SUDENVESTE (roupas) (Tribuzi, 2011).

Por fim, destaca-se que os usos e cobertura da terra provém da exploração dos recursos produzidos no estado, desde o período colonial, com a produção do açúcar e aguardente, criação de gado, produção da monocultura do algodão, arroz e produção do extrativismo do babaçu. O fortalecimento na produção do algodão, que ganha um importante papel na economia do Maranhão, se dá com a criação da Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão, por Marquês de Pombal. Daí surge a necessidade de implantação de indústrias para o beneficiamento dos produtos derivados do algodão como as mencionadas na tabela 2. A carne produzida era destinada para o consumo interno.

A abertura das rodovias brasileiras no século XX, proporciona os avanços dos usos da terra para o interior do estado, principalmente às margens dos principais rios, onde a disponibilidade de mata era grande, proporcionando o avanço das fronteiras agrícolas e pecuária, que agora é remodelada pelo pequeno agricultor familiar. Estes, por sua vez, perderam espaços com as medidas adotadas pelo governo para fortalecer a economia e incentivar a produção e a expansão das fronteiras agrícolas para o interior do estado. Essa expansão beneficiou os grandes latifundiários, pois as medidas não dispuseram de fiscalização e demarcação das terras, ocasionando a grilagem e o aumento exponencial das grandes fazendas de criação de gado, principalmente nas terras que eram mais propícias à agricultura.

Observa-se que a expansão dos usos e ocupação, desde o princípio da história do Brasil, pelos grandes empreendimentos com as grandes lavouras, sempre estiveram à serviço do mercado europeu, cabendo à agricultura de subsistência a manutenção do mercado local. Esse fato ocorre até os dias atuais. Enquanto o agronegócio é voltado ao comércio internacional, cabe à agricultura familiar, produzir alimentos para o mercado interno brasileiro.

5.2. Faixas de Transição no município de Santana Do Maranhão

Aziz Nacib Ab'Saber, ao analisar as paisagens brasileiras, reconhece ao longo dos seus estudos seis grandes domínios paisagísticos e macroecológicos, os quais denominou-os de domínios morfoclimáticos. Esses domínios morfoclimáticos, são considerados por Ab'Saber (2003), como um conjunto espacial de certa ordem de grandeza territorial, onde haja um esquema coerente de feições de relevo, tipos de solos, formas de vegetação e condições climático-hidrológica específicas que, combinados e integrados formam áreas relativamente homogêneas.

De acordo com o autor (*op. cit.*), entre um domínio morfoclimático e outro, ocorrem as Faixas de Transição que o mesmo autor chamou de “interespaços de transição e contato”, que existem entre um corpo espacial nuclear de um domínio paisagístico e ecológico e as áreas nucleares de outros domínios vizinhos (Ab'Saber, 2003). As faixas de transição e contato são os espaços que decorrem entre os domínios morfoclimáticos, com características e combinações diferentes que “apresenta uma combinação diferente de vegetação, solos e formas de relevo”. Em suma, são extensos corredores de diferentes formas e larguras, equivalente a mais ou menos um milhão de quilômetros, em avaliação espacial grosseira e provisória, que fazem essa combinação de elementos naturais que resultam em formações paisagísticas e ecológicas variadas e distintas. (Ibid.).

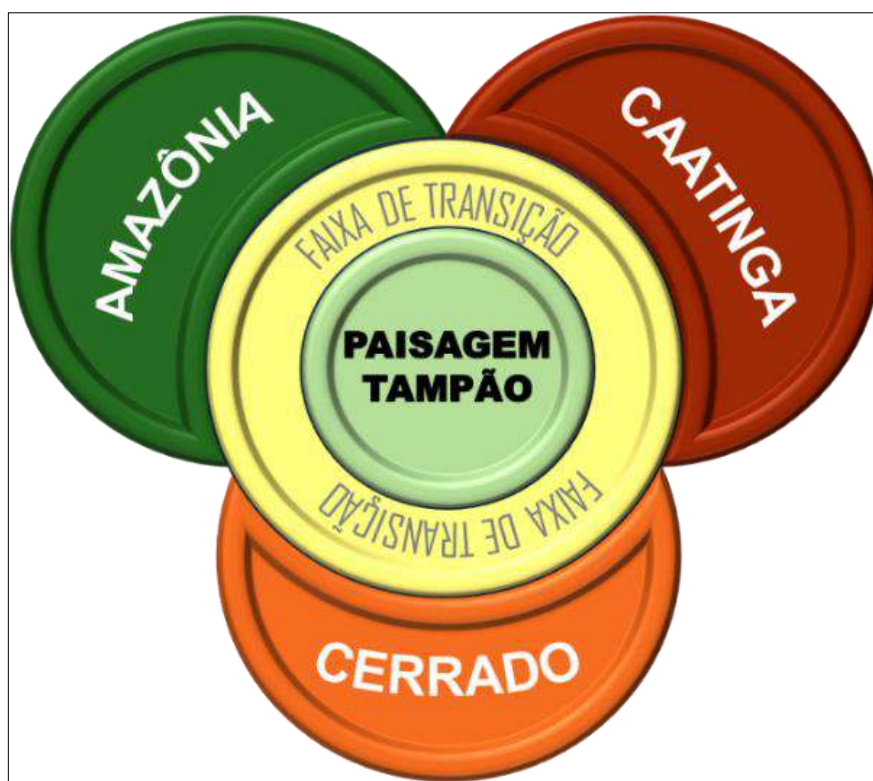
Desse modo, Ab'Saber (2003) destaca que os interespaços transicionais restantes entre os mesmos – aparecem como se fossem um sistema anastomosado de corredores, dotados de larguras variáveis, ou seja, há uma conexão entre os demais corredores, interligando-os simultaneamente. Entre cada setor dessas alongadas faixas representa uma combinação sub-regional distinta de fatos fisiográficos e ecológicos, que podem se repetir ou não em áreas vizinhas e que, na maioria das vezes, não se repetem em quadrantes mais distantes (Ibid., 2003).

De acordo com o estudo de Ab'Saber (2003), compreende-se que as faixas de transição e contato podem ocorrer a combinação dos diferentes elementos naturais num dado espaço, caracterizando-se a partir da vegetação, dos solos e das formas de relevo. Essa combinação “revelaram complexas combinações de componentes fisiográficos e ecológicos dos domínios envolventes, assim como a presença de paisagens-tampão, mais ou menos individualizadas, colocadas em certos setores centrais dessas faixas de transição” (Ibid., 2003).

Como paisagem-tampão, entende-se como sendo uma zona de transição entre dois ou três grandes domínios morfoclimáticos, que apresentariam elementos combinatórios de ambos os domínios, ou até de um terceiro domínio morfoclimático, que serviria como uma área

tampão, frente aos domínios as quais está inserido. A figura (10) a seguir apresenta uma ilustração de uma paisagem-tampão entre três domínios morfoclimáticos, tipificando a mata dos cocais no estado do Maranhão, segundo a percepção de Ab'Saber (2003).

Figura 10: Ilustração de uma paisagem-tampão tendo como exemplo a mata dos cocais no estado do Maranhão

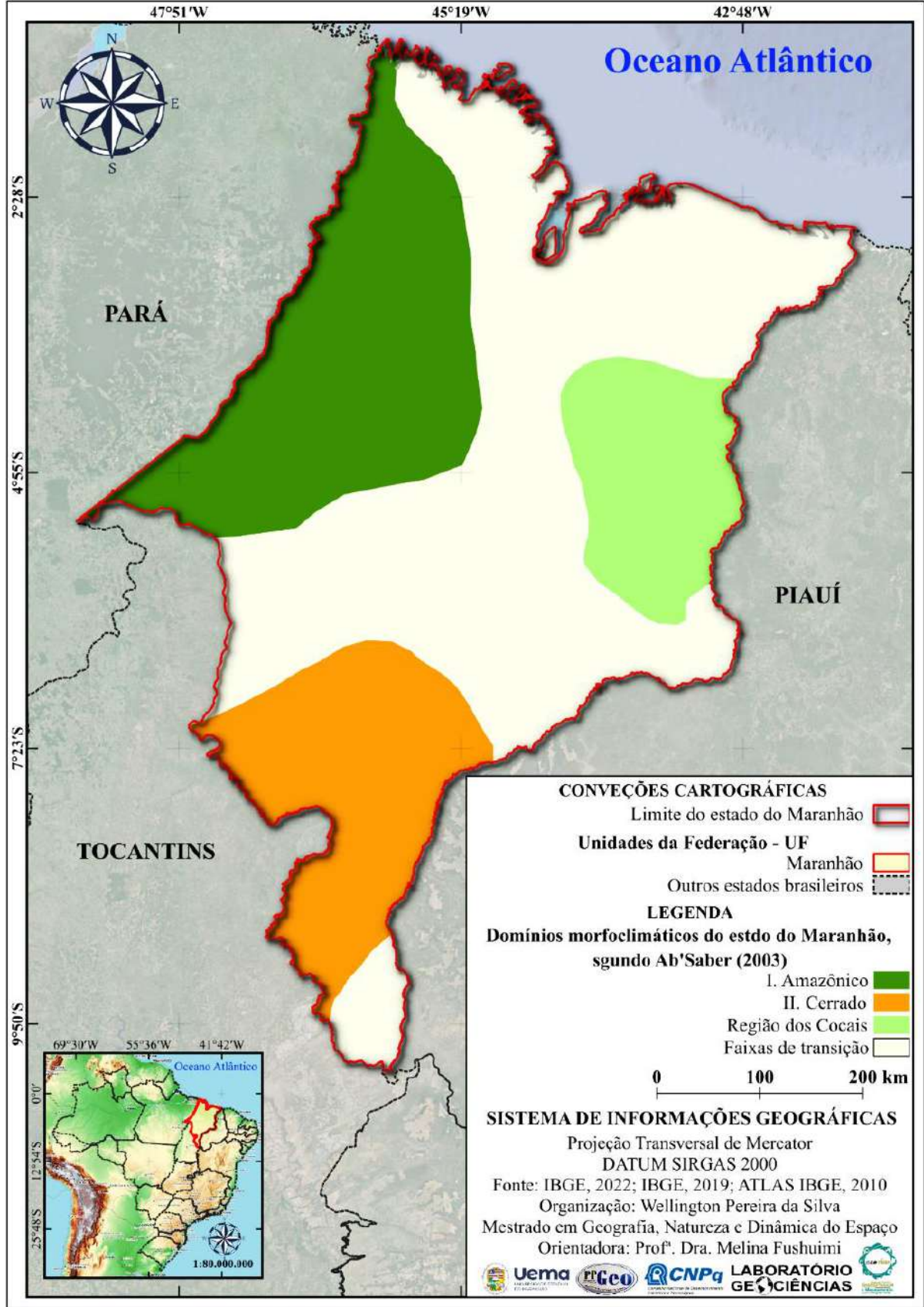


Fonte: Elaboração própria (2025)

A ilustração mostra, de um lado o domínio Amazônico, do outro a Caatinga caracterizada pelo semiárido e de outro o Cerrado um pouco mais ao sul, tendo ao centro, entre os três grandes domínios, uma ampla zona de transição. Como origem desses três domínios, bem ao centro da faixa de transição, tem-se a paisagem-tampão que, Ab'Saber entendia isso como a zona tampão que, acaba criando um sub domínio morfoclimático que seria como uma área tampão entre a floresta Amazônica, Caatinga e o Cerrado.

Nessa perspectiva, a área de estudo situa-se em uma faixa de transição e contato entre os biomas Amazônico e Cerrado, onde predominam as seguintes fitofisionomias do Cerrado: árvores baixas com troncos retorcidos, Área Campestre, Mata Ciliar, Mata de Galeria e Vereda.

Figura 11: Domínios morfoclimáticos no estado do Maranhão, segundo Ab’Saber (2003).



Fonte: Própria Pesquisa (2025)

Ao analisar a figura 11, observa-se que o “interespaço de transição e contato”, ou como habitualmente conhecido de faixas de transição, apresenta uma paisagem-tampão, que Ab’Saber (2003) caracterizou-a como Mata dos Cocais, situada na Região dos Cocais Maranhenses. De acordo com Barbosa *et al.* (2020), essa área está localizada na porção leste do Estado do Maranhão, limitando-se ao norte com a Mesorregião Leste Maranhense, ao Sul com a Mesorregião Centro, a Oeste com a Mesorregião Centro Maranhense e a Leste com o estado do Piauí, compreendendo uma área de 30.211 km². De acordo com Barbosa *et al.* (2020), a região dos Cocais é caracterizada pela predominância da Mata de Cocais e está inserida na bacia do Rio Itapecuru.

Ao percorrer aos trabalhos de campo através da rodovia estadual MA-034 (que liga Tutoia a São João dos Patos) e a BR-222 (que liga Chapadinha a Itapecuru Mirim), notou-se que essa Matas dos Cocais, formam uma paisagem-tempão ao longo dos municípios de Chapadinha, sentido Vargem Grande, além de ter sido encontrada ainda nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo Maranhão. Estes dois últimos municípios fazem divisa com o município de Santana do Maranhão, área objeto de estudo. Mas no próprio município que compreende a área de estudo, encontrou-se apenas uma espécie de palmeira, o Buriti (figura 12), ao longo do curso do rio Magu e em seus afluentes, como o Baixão da Vereda, que traz esse nome por apresentar as características fitofisionômica do bioma Cerrado.

Figura 12: Fitofisionomia de vereda com presença de palmeira do Buriti, no afluente do rio Magu, Baixão da Vereda, próximo ao povoado Vereda 3.



Fonte: própria pesquisa (2025)

5.3. Caracterização dos usos e cobertura da terra no município de Santana do Maranhão

O processo de ocupação no Município de Santana do Maranhão, provém da migração de retirantes cearenses que fugiram da “grande seca”, ocorrida de 1877 a 1879 (Agência Senado, 2021). De acordo com a Agência Senado (2021), mais de 500 mil pessoas morreram por fome ou por doenças relacionadas a ela, ao longo dos três anos que durou a seca no Ceará. A situação agravada, com inúmeras mortes, muitos retirantes se viram na contramão da sorte e lançaram-se em busca de melhores condições de vida.

O grupo de retirantes que passaram a ocupar o município de Santana do Maranhão, partiram de Santana do Acaraú, liderada por Jerônimo da Costa e seus filhos Vitor da Costa, Francisco da Costa e João da Costa ou João V e as filhas Aniceta, Joana e Maria. Era um grupo de, aproximadamente, 70 pessoas e logo foram se estabelecendo nos atuais povoados São João (dos Teixeiras), Riachão, São Gonçalo e Santana dos Costas, nome dado em homenagem à santa padroeira de Santana do Acaraú (IMESC, 2024). Mais tarde, outro grupo cujas famílias são Pereira, Braga e Valentim, passaram a ocupar os povoados (já existentes) de Bacuri e São Gonçalo. Estes, por sua vez, começaram a entrosar-se com as famílias que já residiam por ali, como os Gonzagas Oliveira em Barra da Estiva e Cajazeiras em São José. As famílias Pereira e Valentim possuíam escravos e se tornaram influentes em pouco tempo (IMESC, 2024).

Não se tem dados oficiais de quais atividades eram desenvolvidas por esses retirantes. Certo que, assim como no processo de uso ocorridos no Brasil, Nordeste e Maranhão que, ao longo de seu processo de ocupação e como se tem encontrado nos dias atuais, destaca-se que as atividades eram às ligadas à agricultura de subsistência com plantio de mandioca e com a criação de gado, destinada à alimentação interna nos povoados. Partes da população desses povoados ainda sobrevivem da agricultura familiar, incrementando diversas culturas no ciclo em seus plantios como mandioca para a produção de farinha, milho, feijão, abóbora, maxixe, melancia e criação de animais de pequeno porte. O sistema de plantio segue o tradicional com roçagem e limpeza do terreno através de fogo. Essas roças eram, e ainda são, próximas aos cursos d'água por apresentarem umidade ideal para os cultivos.

Os avanços das fronteiras agrícolas estão potencialmente condicionados pelo relevo, suave-ondulado propício à mecanização agrícola e pelo clima, predominando um período chuvoso de 6 meses, ou seja, de dezembro a maio. Esses usos, têm-se intensificados nos dois últimos anos com projetos agrícolas já implantados e outros em face de implantação. Reis e Conceição (2010), afirmam que o interesse por essa região do Cerrado maranhense, dá-

se pelo fato dela apresentar uma topografia favorável à mecanização e dispõe de solos argilosos, o que levou a ocupação de extensas áreas de plantações de soja.

A continuidade desses usos intensivos, sem nenhum planejamento ambiental, pode resultar na vulnerabilidade destes aos processos erosivos e/ou na degradação desses solos. Esses fatos já são perceptíveis, sobretudo nos campos de pastagens, onde foram retiradas a cobertura vegetal, deixando o solo totalmente exposto. Desse modo, Fushimi (2012), destaca que a interferência da sociedade na natureza, tanto em ambientes urbanos quanto rurais, quando ocorrida de modo inadequado sob o aspecto ambiental, sem práticas conservacionistas de manejo ambiental adequado, pode proporcionar paisagens degradadas e meios morfodinâmicos instáveis.

Essa interferência tem ocorrido com maior frequência nos dois últimos anos, sobretudo com o avanço dos usos da terra com plantio de soja, milho, pastagem para o gado, além da retirada de madeira destinada à produção do carvão vegetal. Portanto, conhecer esses avanços socioeconômicos é fundamental para compreender que a cobertura vegetal desempenha uma importante função na paisagem e nos estudos de uso da terra (Bezerra, 2011).

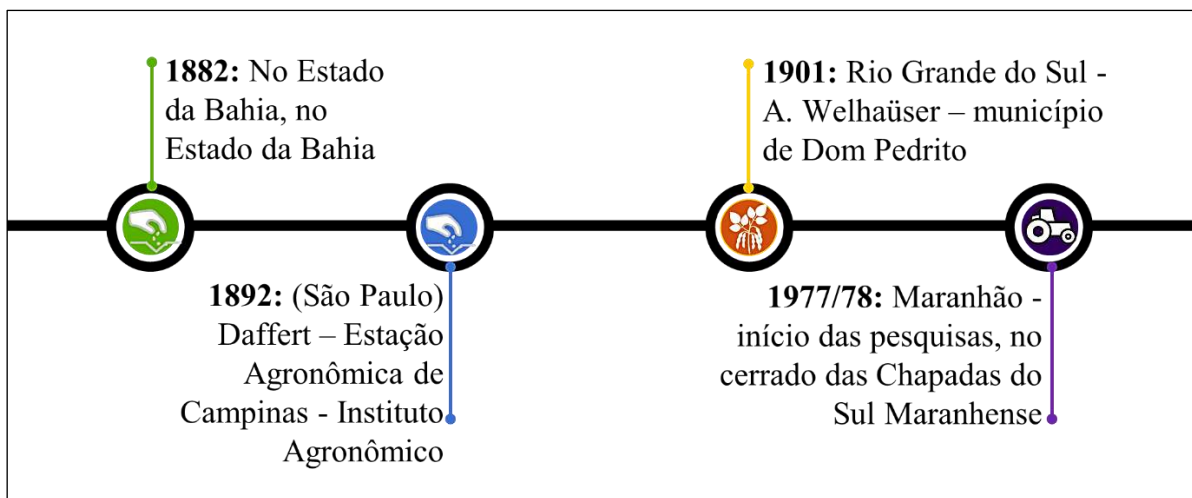
Essas modificações repercutem diretamente em todo o seu conjunto paisagístico, pois a região estudada, tem grande potencial hídrico, com a nascentes de vários rios que estão dentro do perímetro do Município de Santana do Maranhão, como o rio Magu, Baixão da Vereda, rio Barro Duro, Riacho da Onça, nascente de um dos afluentes do rio Preguiça ou rio Grande, o Guarimã, dentre outros. Com isso, mostra-se necessário estudos e planejamento para os usos adequados dessas áreas, evitando que estes rios venham a ser impactados.

5.3.1. A expansão da monocultura no Brasil, Nordeste, Maranhão e Santana do Maranhão

A história da origem da monocultura da soja no Brasil, remete-se aos anos de 1882, quando Gustavo D'utra relata os resultados dos primeiros testes feitos com algumas variedades no Estado da Bahia, na Região Nordeste do Brasil. A partir de então, diversos estudos foram feitos em diferentes pontos do País. Estas tentativas foram de fundamental importância para o estabelecimento da cultura (Bonato & Bonato, 1987).

Outros relatos afirmam que os primeiros estudos tenham sido feitos em São Paulo, na Estação Agronômica de Campinas, atual Instituto Agrônomo de São Paulo. Mas foi no Rio Grande do Sul que surgiu a primeira informação sobre a soja, que foi datada por Minsén (1901), quando relatou o desempenho de um plantio feito pelo engenheiro agrônomo A. Welhaüser, no município de Dom Pedrito (Bonato & Bonato, 1987), conforme demonstra a Figura (13) a seguir.

Figura 13: Expansão da monocultura no Brasil, Nordeste e Maranhão



Fonte: Minsen (1901); Bonato & Bonato (1987). Adaptado pela pesquisa (2024).

Ao certo que, desde esses primeiros relatos de como a soja adentrou no Brasil, inicialmente pelo Rio Grande do Sul (Cruz & Santos, 2022; Botelho, 2017; Santos et al. 2009; Bonato & Bonato, 1987), ela foi expandindo-se para outros estados em consequência do desenvolvimento de novas tecnologias atreladas ao processo produtivo, ampliando seu alcance para novas áreas como Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás até chegar aos estados da Amazônia Legal como o Maranhão, Pará e Tocantins (Santos *et al.* 2009).

No Maranhão, de acordo com Bonato & Bonato (1987), a produção da soja foi iniciada no ano agrícola de 1977/78, apenas um ano após o início das pesquisas com a cultura, sendo localizada a produção no Cerrado das chapadas do Sul Maranhense, tendo como centro a região de Balsas. Para os autores, a área cultivada continua se expandindo anualmente, visto ter a soja se mostrado uma boa opção para ser utilizada em rotação com o arroz. Desse modo, a fixação definitiva da cultura da soja, no estado, deve muito ao pioneirismo do Sr. Leonardus Philipsen e à atuação do Banco do Nordeste S.A., apoiando o Plano de Difusão da Cultura da Soja no Nordeste do Brasil, elaborado em 1981 (Bonato & Bonato, 1987, p. 28).

Feitosa *et al.* (2023), destacam que, de 1940 ao início dos anos 1980, o Maranhão apresentava taxas crescentes na produção de suas principais lavouras de sequeiro como o arroz, feijão, mandioca e milho, cultivados pela Unidade Agrícolas Familiares (UAF), chegando a estar entre os três maiores produtores de arroz do país, nas décadas de 1960, 1970 e início dos anos 1980, mas que perdeu essa posição, na segunda metade dos anos 80 com a expansão da monocultura da soja.

Quanto à expansão do cultivo da soja no Cerrado maranhense, essa se deu mais especificamente na região de Balsas, Sul do estado, a partir da década de 1970. Durante a segunda metade da década de 1990 os principais municípios em termos de produção no Estado eram: Tasso Fragoso, Riachão e Balsas. No início do século XXI, outros municípios, como Alto Parnaíba, São Raimundo das Mangabeiras, Sambaíba, Fortaleza dos Nogueiras e Chapadinha (Botelho, 2017) são as novas frentes de expansão das fronteiras agrícolas da soja.

Almeida & Mattos Junior (2016), destacam que a sojicultura não foi a primeira atividade ligada ao ramo do agronegócio a ser estabelecida na região Leste Maranhense e Microrregião de Chapadinha. As primeiras atividades foram o plantio de eucalipto, na década de 1980, impulsionado pela abertura da mina de ferro Carajás, da Vale, no estado do Pará, criando dezenas de siderúrgicas de ferro gusa, aumentando a demanda por carvão vegetal como fonte energética (Souza, 2013). Assim, várias empresas do ramo como a Maranhão Reflorestadora Ltda. (Marflora), braço florestal da siderúrgica Maranhão Gusa S/A (Margusa), a Comercial e Agrícola Paineiras Ltda., empresa do grupo Suzano de Papel e Celulose S/A e a Gerdau (Carneiro, 2008; Souza, 2013; Gaspar, 2010; Almeida & Mattos Júnior, 2016), expandem suas atividades cujo objetivo é a produção dessa matriz energética.

Com os baixos custos das terras, irregularidades nos registros das posses e a fraca atuação na regularização fundiária, além da promulgação da Lei estadual das Terras nº 2.979, de 1996, incentivaram a negociação e a venda das terras nas comunidades tradicionais (Souza, 2013; Gaspar, 2010). Fato que esses usos foram se consolidando e gerando vários conflitos, nos municípios do Baixo Parnaíba maranhense, onde se encontra o município de Santana do Maranhão.

No município de Santana do Maranhão, não se tem registros oficiais de quando se iniciou a produção de soja, pois este ainda não havia se desmembrado de São Bernardo e factualmente de Santa Quitéria do Maranhão, o que só ocorreu, em 10 de novembro de 1994, após a sua emancipação política. Nesse período, os avanços e a expansão da monocultura do eucalipto já decorriam no município de Santa Quitéria, nas mediações dos povoados Onça, Vila, Cabeceira do Magu e Vereda 3. Só foi possível identificar esses usos através de imagens históricas do Google Earth e conversas informais com ex-trabalhadores das fazendas, que foram acontecendo ao longo do estudo, sem nenhum roteiro específico.

Com base nos registros dessas imagens realizou-se uma consulta com os moradores da comunidade Vereda 3, um dos povoados próximos de onde foram encontradas as imagens de satélites que mostram os primeiros usos da terra, com os campos de pastagens e plantios de cajueiros que datam da década de 1960. Essas informações foram obtidas através de conversas

informais com os moradores que já haviam trabalhado nas propriedades, onde se implantaram os primeiros plantios de eucaliptos.

Os mesmos relataram que os usos se originaram nas mediações do povoado Cantina, estabelecido entre os municípios de Santa Quitéria do Maranhão e São Bernardo, onde foi possível identificar construções abandonadas conforme demonstra a figura 14. Assim, o objetivo do estabelecimento do povoado supracitado era para abrigar os funcionários da fazenda (figura 15). No mesmo local, de acordo com os trabalhadores, os primeiros cultivos eram o eucalipto (*Eucalyptus spp*) e o pinus (*Pinus sp.*). Ambos trabalharam nas plantações das respectivas culturas, em meados da década de 1980.

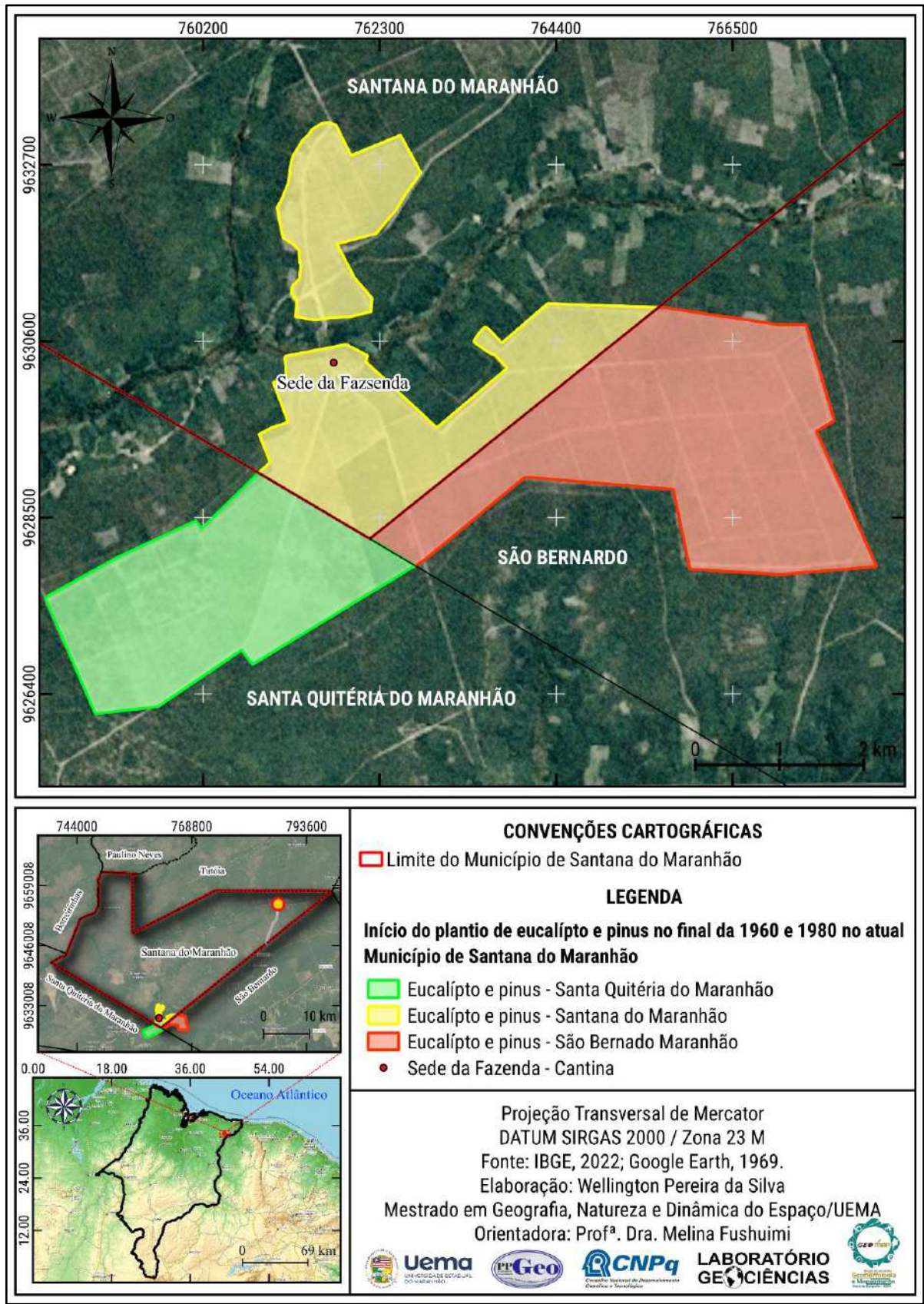
Figura 14: Casas abandonadas da sede da antiga fazenda, no limite dos municípios de Santa Quitéria, São Bernardo e Santana do Maranhão, onde foram identificados os primeiros plantios de eucalipto e pinus no povoado Cantina.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Após as atividades de plantio de eucalipto, os trabalhadores consultados (da época), falaram que os campos foram se expandindo em direção à região central do atual município de Santana do Maranhão em meados da década de 1980. Ressalta-se que, no período dessa expansão, esse território ainda não havia sido desmembrado de Santa Quitéria, tampouco de São Bernardo, pois o município de Santana do Maranhão só foi emancipado na década de 1990.

Figura 15: Mapa de localização dos primeiros usos da terra, nas divisas dos municípios de Santa Quitéria do Maranhão, São Bernardo e Santana do Maranhão, no final da década 1960 a 1980.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

A origem da monocultura no Baixo Parnaíba maranhense, onde se encontra o município de Santana do Maranhão, datam da mesma época em que os trabalhadores relataram suas prestações de serviços, na década de 1980, conforme, Carneiro (2008), Souza (2013), Gaspar (2010), Almeida & Mattos Júnior (2016).

Quanto ao início do cultivo sojícola na microrregião de Chapadinha só aconteceu no final dos anos de 1990 (Gaspar, 2010). O mesmo autor salienta que nos anos 2000, o Leste maranhense havia se tornando o segundo polo da sojicultura no Maranhão, com concentração na Microrregião de Chapadinha, alcançando os municípios de Anapurus, Brejo, Buriti de Inácia Vaz, Chapadinha, Mata Roma e Milagres do Maranhão, com crescente produção de arroz, milho, milheto e soja (Holanda, 2008 *Apud.* Gaspar, 2010).

Almeida & Mattos Junior (2016) afirmam que os primeiros registros da produção de grãos no Leste Maranhense, remetem-se ao final dos anos 1990, tem uma expansão a partir de 2000, mas que somente em 2015 que se observa o maior crescimento em todas as mesorregiões do estado.

Silva (2014) destaca a importância do cultivo da mandioca e quanto ela está incrementada na culinária local, constituindo-se em um dos principais alimentos energéticos de boa parte da população do Leste Maranhense, em forma de bolos, beijus e, principalmente, farinha e tiquira. O autor descreve essa atividade econômica, acerca do cultivo da mandioca, com base nos sistemas de conhecimento local em um trabalho realizado no povoado Vertente que, teoricamente está situado no município de Santa Quitéria, mas que foi incorporado pelo IBGE, ao território santanense, com a emancipação política de Santana do Maranhão, em 1994, de acordo a base de dados do IBGE (2022).

As abordagens até aqui propostas, não apresentam os avanços desses usos propriamente no município de Santana. Mas tratou de evidenciar os fatos a partir das fronteiras dos municípios da qual a área de estudo desmembrou-se. Portanto, destaca-se que os usos datam da mesma época de expansão da monocultura no município de Santa Quitéria do Maranhão, na década de 1960 a 1980. De acordo com levantamentos obtidos, os plantios não tiveram os resultados esperados, talvez pela falta de adubação necessária para o plantio. Desse modo, os campos passaram a servir de pastos para os animais de grande porte (bovinos) dos moradores e fazendeiros locais, conforme será abordado na seção a seguir.

5.3.2. A pastagem

A expansão da monocultura do eucalipto na década de 1980 no município de Santa Quitéria, sobretudo nos povoados que, mais tarde pertenceriam ao município de Santana do Maranhão, não avançaram, pois, de acordo com levantamentos da pesquisa, as plantações não cresceram ou aquelas que cresciam, acabaram secando, não completando o ciclo adequado para a colheita. Nesses espaços, cresciam as gramíneas nativas como o ervaço, (*Froelichia humboldtiana*), que é uma planta nativa de ocorrência comum no semiárido nordestino (Silva, 2016). O ervaço é uma espécie de planta altamente aceitável na alimentação por diversas espécies de animais, como ovinos, equídeos e bovinos (Macedo *et al.*, 2006; Pimentel *et al.*, 2007; Knupp *et al.* 2014).

São essas áreas que, outrora eram ocupadas para o plantio de eucaliptos que atualmente servem de campos de pastagens para a bovinocultura. Outra parte dessas áreas que, além do ervaço, tem-se o capim agreste, que brotam espontaneamente nos tabuleiros, no começo da estação chuvosa, é de grande importância para a criação do gado dos camponeses (Paula Andrade, 1995a; Botello, 2017).

A prática de criação de gado em campos dos gaúchos” (termo utilizado pelos moradores locais e pelos autores Gaspar e Paula Andrade, 2015, ao referirem-se aos produtores de soja e eucaliptos, vindos do Sul do país), conforme são elencadas pelos produtores, ainda são comuns na atualidade. Partes dos pequenos produtores pagam uma taxa mensal para que seus gados fiquem dentro dos sítios, usufruindo da pastagem que, na grande maioria são pastos remanescentes das grandes explorações das matas nativas. Essa prática torna-se comum, pois as áreas não corresponderam às expectativas dos produtores de eucaliptos e soja.

Na tentativa frustrada de implantação da monocultura tanto do eucalipto, quanto da soja, restaram-se os campos limpos que servem para a pecuária extensiva. De acordo com os moradores locais, os “gaúchos” (Gaspar e Paula Andrade, 2015) tentaram plantar as culturas citadas e não tiveram o retorno esperado. A partir daí passaram a extrair a madeira para a produção de carvão vegetal, conforme será abordada na próxima subseção.

5.3.3. A produção de Carvão vegetal

A área de estudo apresenta uma grande diversidade do bioma Cerrado, embora esteja na faixa de transição proposta por Ab’Saber (2003). As áreas que até então vêm sendo modificadas, alterando a paisagem, demonstram que os intensos usos já transcorreram décadas

de exploração. De acordo com Paula Andrade (1995), Carneiro (2008), Souza (2013), Gaspar (2010) e Almeida & Mattos Junior (2016), a produção de carvão vegetal surge na década de 1980, quando a mina de Carajás, leva à criação de dezenas de siderúrgicas de ferro gusa e surge o aumento pela demanda para a produção de carvão vegetal. Com isso, a Maranhão Gusa S/A (MARGUSA) chega à região Leste maranhense, com um projeto para a produção de carvão vegetal, motivado pela abertura da mina de ferro de Carajás, da VALE, no estado do Pará.

Nesse processo, há uma expansão da monocultura, como a produção de eucalipto para a obtenção de matéria-prima para a fabricação de celulose e carvão vegetal (Carneiro, 2008). Noutra visão, Souza (2013) destaca que a “MARGUSA não comprava terras, apenas pagava pessoas para cortar madeira do Cerrado nas chapadas, para produzir o carvão, causando assim muita devastação”. Mais tarde, criou a empresa “Florestal”, Maranhão Reflorestadora Ltda (Marflora), empresa encarregada da extração de carvão vegetal para a produção de ferro gusa pela empresa Margusa (Carneiro, 2008; Souza, 2013). Na década de 1990, a Margusa foi vendida para o grupo japonês Yanmar do Brasil S/A, permanecendo em operação até 1995, transformando madeira nativa em carvão (Almeida & Mattos Júnior, 2016).

Paula Andrade (1995) destaca que a política agressiva da Marflora que, através da aquisição de terras e do estímulo à produção de carvão vegetal por terceiros, provocou uma série de efeitos negativos sobre a economia camponesa e o ambiente. Essa prática foi identificada no Município de Santana do Maranhão, nos anos de 2004 e 2005, através de imagens de satélites do Google Earth. Identificou-se inúmeros fornos com duas carvoarias próximas que modificaram completamente a fisionomia da paisagem, se comparadas aos anos anteriores.

As imagens registram o início da produção a partir de 2004. Mas a imagem coletada de outubro de 2005, apresenta maior detalhes dos usos. A primeira Carvoaria (figura 16) está localizada nas coordenadas 9644315,15 Sul (latitude) e 759979,36 Leste (longitude) e conta com um total de, aproximadamente 60 fornos para produção de carvão vegetal.

Figura 16: Primeira carvoaria identificada no município de Santana do Maranhão (2004/2005).



Fonte: Google Earth (2024), Adaptação, Própria Pesquisa (2024)

A segunda carvoaria está localizada mais ao Sul do Município, há aproximadamente 3 km da primeira, nas coordenadas 9641537,80 Sul (latitude) e 759348.36 Leste (longitude) (figura 17). A mesma conta com, aproximadamente, 40 fornos, conforme as informações obtidas através das imagens.

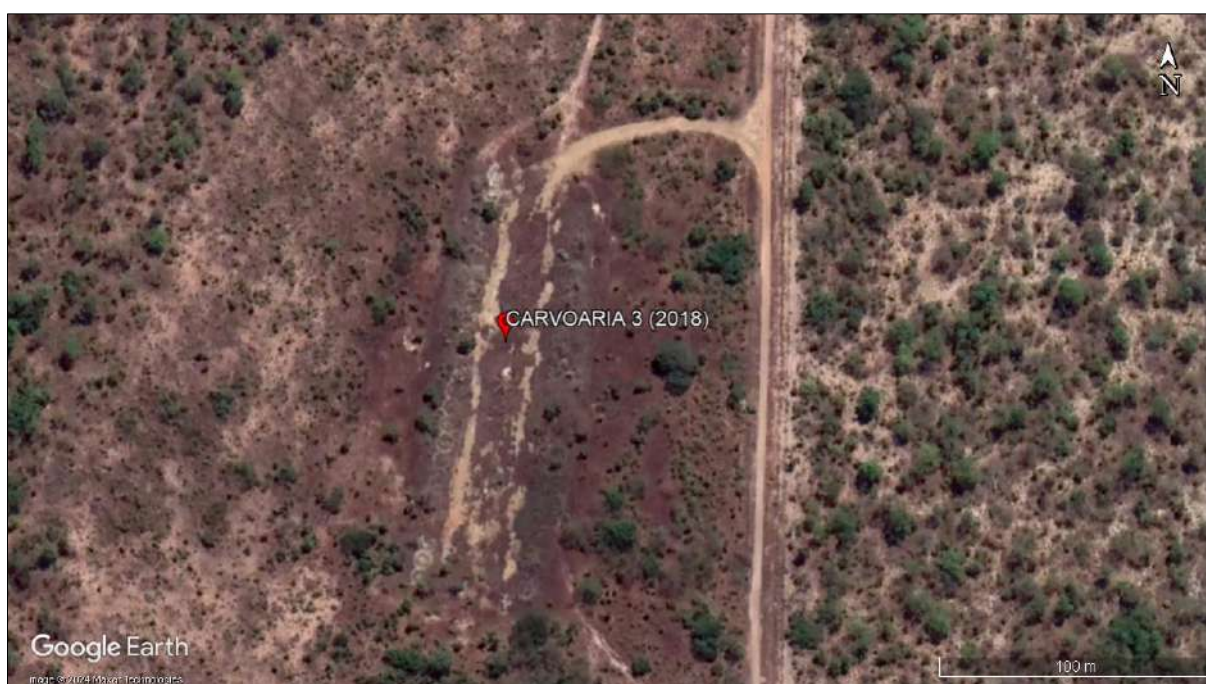
Figura 17: Segunda carvoaria identificada no município de Santana do Maranhão de 2004/2005.



Fonte: Google Earth (2024), Adaptação, Própria Pesquisa (2024)

Em conversas informais/casuais com os moradores, descobriu-se ainda que essa mesma prática de uso continuou nos anos posteriores, entre os anos de 2014 a 2016. Realizando mais uma consulta via Google Earth, não foi possível localizar outras duas carvoarias ativas, pois a linha do tempo que mostram as imagens históricas, não apresentou imagens para os respectivos anos. Apenas em setembro de 2018 (carvoaria 3 - coord. 9644004,00 Sul - latitude) e 761904,00 Leste - longitude) e agosto de 2019 (carvoaria 4 - coord. 9645563,00 Sul - latitude) e 766903,00 Leste - longitude), obteve-se imagens de boa resolução e visualização, mas com os fornos inativos (figura 18 e 19), completamente destruídos.

Figura 18: Fornos inativos da produção de carvão vegetal de 2018, no município de Santana do Maranhão



Fonte: Google Earth (2024), Adaptação, Própria Pesquisa (2024)

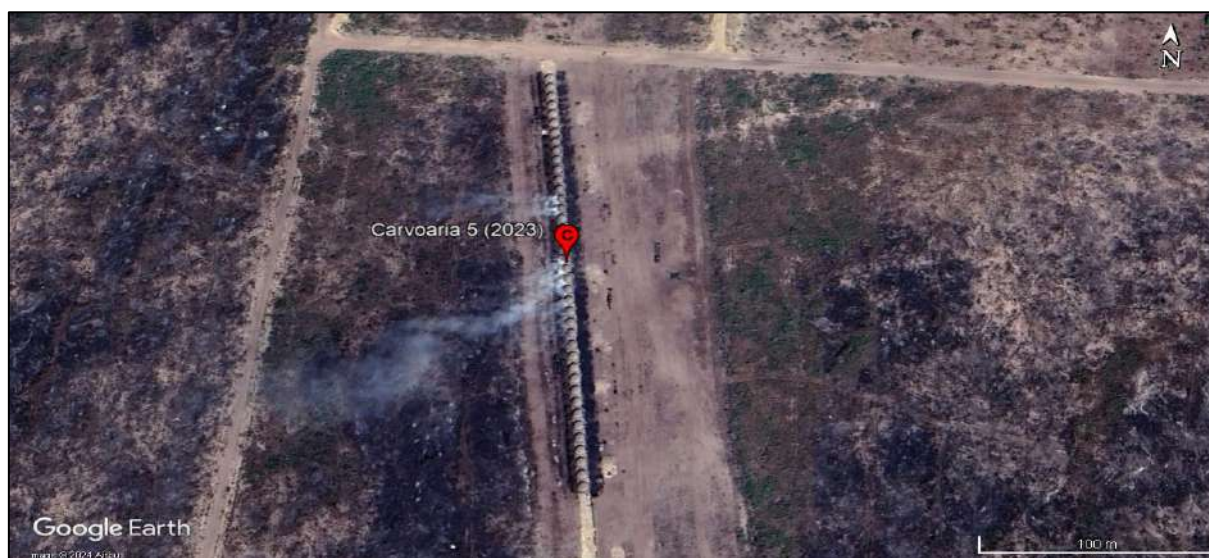
Figura 19: Fornos inativos da produção de carvão vegetal de 2019, no município de Santana do Maranhão



Fonte: Google Earth (2024), Adaptação, Própria Pesquisa (2024)

Durante os trabalhos de campo, realizados em junho de 2023 foram identificadas pilhas gigantescas de madeira e março de 2024, encontrou-se outra carvoaria, sob as coordenadas 9639258.00 Sul (latitude) e 761021.00 Leste (longitude), em atividade em plena atividade (figura 20).

Figura 20: A 5ª carvoaria ao Sul do Município de Santana do Maranhão em 2023/2024



Fonte: Google Earth (2024), Adaptação, Própria Pesquisa (2024)

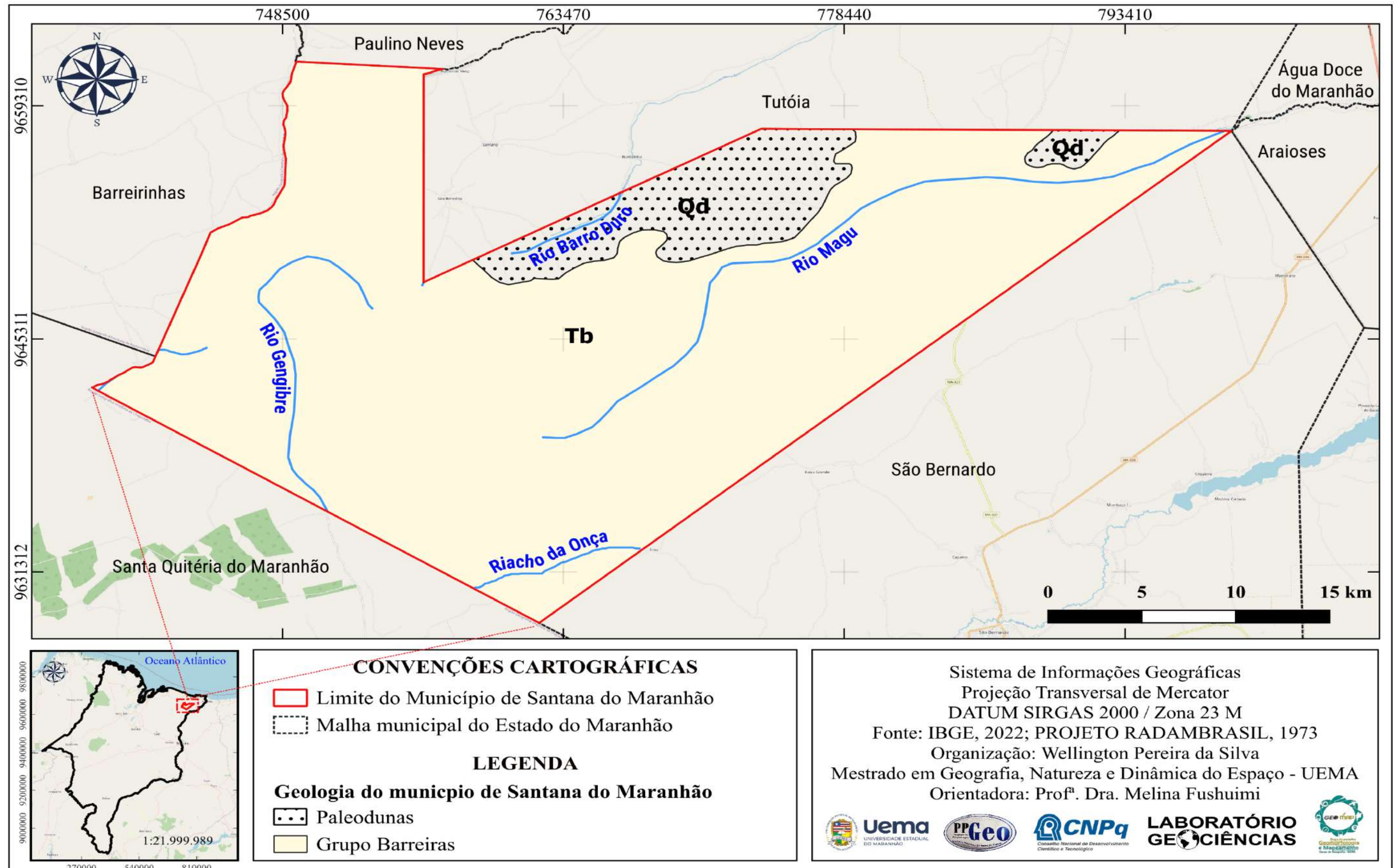
São atividades como estas que vem alterando a paisagem na área de estudo e, conseqüentemente, alterando as propriedades dos solos. Portanto, é importante pensar não apenas no atual modelo de desenvolvimento econômico, mas na biodiversidade e como estas atividades têm contribuído para as dinâmicas ambientais.

5.4. Caracterização geológica, geomorfológica, pedológica, hidrográfica e climática do Município de Santana do Maranhão

5.4.1. Caracterização Geológica do Município de Santana do Maranhão

O município de Santana do Maranhão, localizado na Mesorregião Leste do estado do Maranhão, apresenta formações geológicas típicas da região costeira e subcosteira nordestina, sendo predominantemente composto por depósitos Quaternários. De acordo com o levantamento bibliográfico e os trabalhos de campo, destaca-se que a Geologia do município de Santana do Maranhão apresenta duas características geológicas (figura 21) distintas que são as Paleodunas e o Grupo Barreiras. A primeira, foram identificadas nos setores de Neossolos Quartzarênicos, composta por areia finas bem classificadas, que datam do Período Quaternário (10.000 a 2 milhões de anos), da Era Cenozoica (Brasil,1973). Essas características, são localizadas às margens da nascente do rio Barro Duro, no limite com o município de Tutóia, justapostas ao rio Magu, nas mediações do povoado Vereda 1, Coqueiro do Magu e Riachão.

Figura 21: Mapa de Geologia do município de Santana do Maranhão



Fonte: Adaptado pela Própria Pesquisa, 2025

As Paleodunas quaternárias que ocorrem no entorno de Santana do Maranhão estão associadas a processos sedimentares recentes, com forte influência eólica e fluvial. Essas Paleodunas são constituídas principalmente por areias quartzosas finas, de coloração clara, pouco consolidadas, com movimentação contínua devido à ação dos ventos. São formações típicas de regiões semiáridas ou subúmidas, com vegetação esparsa, e estão associadas à planície litorânea e às áreas adjacentes dos rios.

O estudo das paleodunas tem sido frequentes em diferentes regiões do mundo, a partir da década de 1940, demonstrando que os campos de paleodunas são semelhantes a estes, tendo sido muitas vezes interpretados como evidências de paleoclimas mais secos do que o atual em passado geológico não remoto (Melton, 1940; Glennie, 1970; Lowe & Walker, 1984; Barreto & Suguio, 1992).

Em estudos voltados para as “dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores”, nos estados do Ceará (na foz do Rio São Francisco), em Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e na Paraíba, Giannini *et al.*, (2005), destaca que nas Paleodunas (dunas inativas) costeiras, o uso de critérios estratigráficos e geomorfológicos tem permitido o reconhecimento de três gerações, baseados nas datações por termoluminescência e luminescência opticamente estimulada em dunas inativas costeiras, indicam até seis agrupamentos de idades. Entre as Paleodunas interiores, as idades até agora disponíveis permitem interpretar atividade eólica intensificada por clima mais seco, principalmente durante o Último Máximo Glacial.

Na distribuição da deposição no tempo, as Paleodunas, também designadas dunas fixas ou inativas, têm sido descritas em associação com a maioria dos campos de dunas transgressivos brasileiros (Ibid., 2005).

Nessa percepção, Giannini *et al.*, (2005), destaca que:

Mesmo nas áreas de paleodunas, o uso do solo não pode ser feito sem um planejamento embasado em sólido conhecimento geológico, pois o adensamento da ocupação e as atividades agropecuárias via de regra exacerbam ou reiniciam processos geológicos, principalmente de transporte sedimentar. A grande suscetibilidade dos sedimentos arenosos incoesos à erosão pela água ou à reativação pelo vento faz com que o uso do solo conduza ora à desfiguração geomorfológica completa das paleodunas, com reflexos irreversíveis na hidrologia e na biodiversidade faunística e florística, ora à produção de novos campos dunares, que passam a afetar áreas até então favoráveis à ocupação antrópica. Desse modo, a proteção e reconstituição de campos de dunas não pode prescindir de planejamento cuidadoso na ocupação das áreas de paleodunas (Ibid. 2005, p. 249).

Tem-se percebido que “as Paleodunas eólicas pleistocênicas e holocênicas, especialmente comum na planície costeira [...], é utilizada como material de aterro nas zonas

urbanizadas do litoral” (Giannini *et al.*, (2005)). Esse uso é extremamente relevante, pois tem-se notado que esse material ainda é muito utilizado para a área de construção civil.

Em suma, esta morfologia eólica acha-se parcialmente obliterada, não somente pela cobertura vegetal (Caatinga ou Cerrado), mas também pelos processos pedogenéticos e ravinamentos originando cones de dejeção (Barreto; Suguio, 1992).

Dessa forma, as Paleodunas identificadas no município de Santana do Maranhão têm os mesmos empregos propostos por diferentes autores ao longo do tempo. Esses usos, recentemente, têm se expandido para outras formas de apropriação dos usos da terra com a expansão agrícola, a produção de carvão vegetal, além dos campos de pastagens que são reflexos das produções frustradas ao longo das últimas décadas.

A segunda característica Geológica do município de Santana do Maranhão é o Grupo Barreiras que, compõe-se de arenitos brancos e róseo-avermelhado, de granulação variada, pouco consolidadas, leito de argila creme e lentes de caulim e calcário. Segundo Nunes (2011), o Grupo Barreiras constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (Arai, 2006), de idade miocênica a pleistocênica inferior (Suguio; Nogueira, 1999; Vilas Boas; Sampaio; Pereira, 2001).

O Grupo Barreiras, uma das unidades geológicas mais extensas do nordeste brasileiro, está presente em grande parte de Santana do Maranhão. Essa formação sedimentar é composta por arenitos, argilitos e conglomerados, resultantes de antigos ambientes fluviais e deltaicos do Período Terciário, principalmente do Mioceno.

O Grupo Barreiras é caracterizado por sedimentos de coloração variada (amarelo, vermelho, branco), geralmente mal selecionados, com matriz areno-argilosa e presença frequente de óxidos de ferro, o que confere colorações avermelhadas às rochas. Dentre as Características principais do Grupo Barreiras, destacam-se os sedimentos continentais do Mioceno, a formação pouco consolidada, material predominantemente arenoso, com níveis argilosos e conglomeráticos, indícios de paleoambientes fluviais e lacustres e solos derivados que são, em geral, arenosos, pouco férteis e suscetíveis à erosão (Beurlen, 1967; Brasil, 1973; 1981; Mabeoone, 1980).

O relevo formado sobre essa unidade é geralmente tabular, com topos planos e encostas suaves, frequentemente recortados por voçorocas e ravinas, resultado da erosão intensa em função das atividades humanas e das chuvas sazonais intensas. Partes dessas características foram identificadas na área de estudo, principalmente a composição de relevo tabular, com superfície plana, à suave-ondulada, além de voçorocas e ravinas.

Essas formações geológicas influenciam diretamente na hidrologia, na cobertura vegetal e no uso da terra do município de Santana do Maranhão. Essas áreas de Paleodunas oferecem baixa capacidade agrícola e são mais suscetíveis à arenização quando há desmatamento. Já os terrenos sobre o Grupo Barreiras, embora mais estáveis, também apresentam limitação de uso devido à baixa fertilidade natural e à alta erodibilidade. Portanto, conhecer os aspectos geológicos, conforme expresso pelos diferentes autores, é crucial para o incremento de culturas e as tomadas de decisões referentes aos diferentes usos da terra.

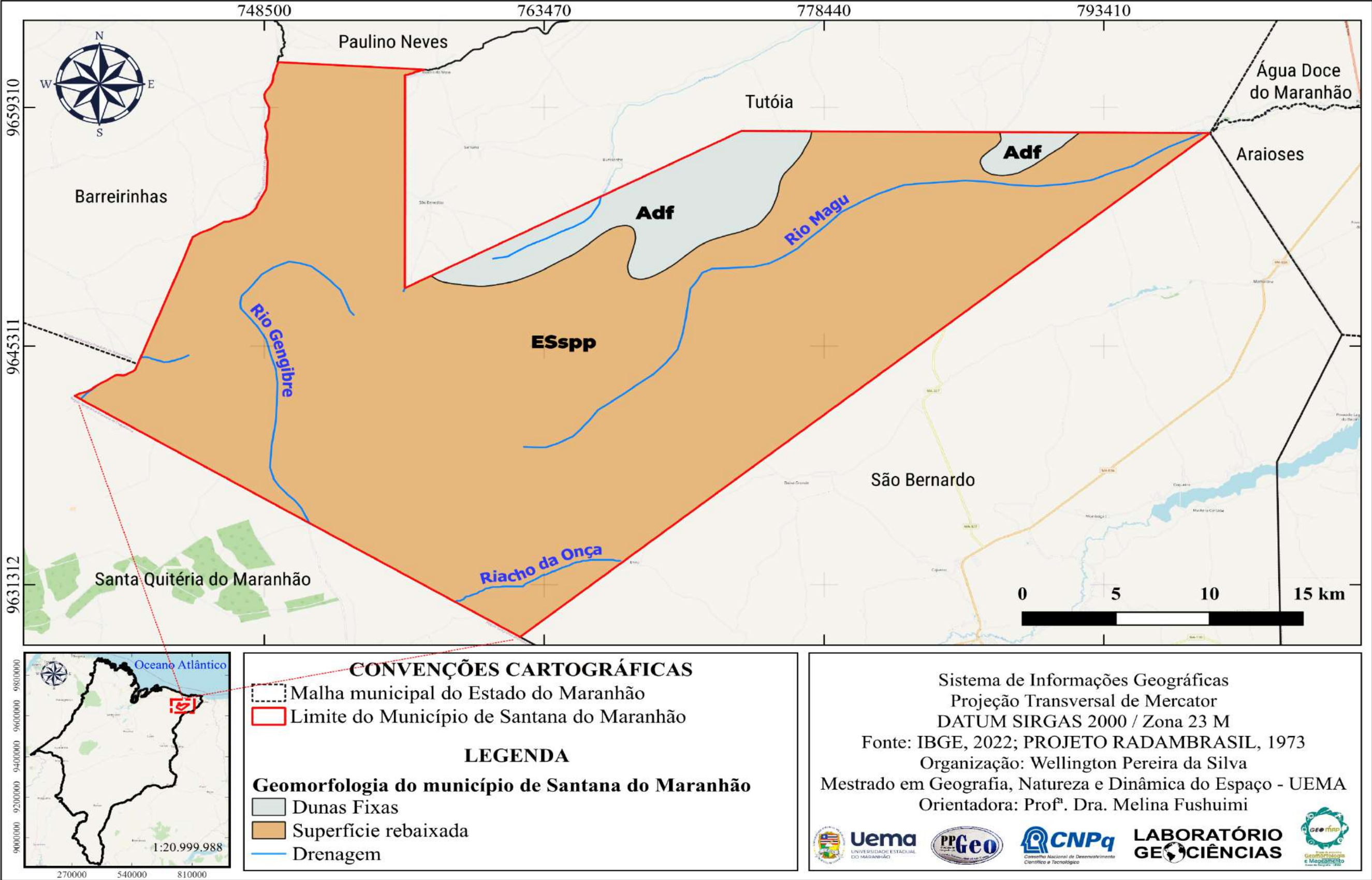
5.4.2. Caracterização Geomorfológica do Município de Santana do Maranhão (MA)

De acordo com o estudo realizado e os trabalhos de campo, destaca-se que o município de Santana do Maranhão, apresenta duas características geomorfológicas distintas que são as Paleodunas e as Superfícies rebaixadas (Figura 22). As Dunas fixas (Adf) ou Paleodunas, são elaboradas nos depósitos arenosos nas planícies litorâneas (Brasil, 1973). As Superfícies rebaixadas, são extensas superfícies elaboradas em rochas sedimentares, apresentando em algumas áreas vales aplainados com Paleodunas recobertas por vegetação.

Segundo Bandeira (2013), os campos de dunas fixas (paleodunas) são depósitos eólicos continentais antigos, que desde o Pleistoceno Médio, há aproximadamente 120 mil anos (máximo da última transgressão marinha), até os dias atuais, predominam na região Nordeste do estado do Maranhão, região onde se encontra o município de Santana do Maranhão. Esses campos de dunas fixas, são constituídos por areias esbranquiçadas, de granulometria fina a média, bem selecionadas e maduras (Santos; Silva, 2009; Veiga Júnior, 2000).

Bandeira (2013), destaca que as dunas dos Lençóis Maranhenses são divididas em dunas móveis e dunas fixas (paleodunas). As primeiras, por sua vez, estendem-se na costa litorâneas que se espriam desde Santo Amaro do Maranhão, passando por Barreirinhas, Paulino Neves, até o município de Tutóia. As Paleodunas (dunas fixas) são vastos campos que se estabeleceram sobre as planícies quaternárias ou galgando os tabuleiros costeiros, revestidas com vegetação pioneira ou de campo-cerrado que percorrem por meio aos tabuleiros do Grupo Barreiras, estendendo-se de 50 a 120 km interior adentro, atingindo as localidades de Urbano Santos e Santana do Maranhão (Bandeira, 2013).

Figura 22: Caracterização geomorfológica do município de Santana do Maranhão



Fonte: Adaptado pela Própria Pesquisa, 2025

As Paleodunas, também conhecidas como dunas fixas ou dunas estabilizadas, são depósitos formados a partir da movimentação e deposição eólica de sedimentos arenosos, que, com o tempo, passam por processos de estabilização natural devido à colonização por vegetação ou por ações das atividades humanas. Essas feições são comuns em planícies litorâneas, onde a disponibilidade de areia e a ação constante dos ventos favorecem a formação de campos dunares. No entanto, quando estabilizadas, deixam de migrar e tornam-se parte da paisagem fixa do litoral.

Nas planícies litorâneas, as Paleodunas são dunas fixas que se formam a partir da reestruturação dos sedimentos trazidos pelas ondas e correntes marinhas, que posteriormente são transportados pelo vento para o interior do continente e recobertas por vegetação. Com o tempo, e sob condições climáticas favoráveis, a vegetação coloniza essas Paleodunas, fixando a areia e permitindo a formação de um relevo estável (Ab'Sáber, 2003; Ross (1992). Esses autores ressaltam que o litoral brasileiro abriga vastas áreas com depósitos dunares fixos, sobretudo no Nordeste, onde a vegetação xerófila cumpre papel importante na estabilização.

Segundo Ab'Saber (1969), as dunas fixas refere-se à transição entre ambientes altamente dinâmicos e áreas com maior estabilidade ecológica e geomorfológica. A vegetação pioneira desempenha papel fundamental nesse processo, fixando os grãos de areia com suas raízes e diminuindo a ação erosiva dos ventos, conforme apontado por Tricart e Cailleux (1972).

De acordo com Suguio (1993), nas planícies costeiras brasileiras, especialmente no litoral nordestino e sul do país, encontram-se extensos campos de dunas fixas, muitas vezes associadas a antigos cordões litorâneos. Tais dunas são testemunhos de variações climáticas e mudanças no nível do mar durante o Quaternário, período em que esses depósitos arenosos foram mobilizados e, posteriormente, estabilizados.

Estudos de Maia *et al.* (2005), no litoral do Rio Grande do Norte, demonstram que as dunas fixas não apenas registram condições paleoclimáticas, mas também desempenham papel importante na conservação de ecossistemas costeiros, atuando como barreiras naturais contra eventos extremos e mantendo o equilíbrio do ambiente litorâneo.

Além disso, as Paleodunas podem sofrer pressões de usos, como ocupação urbana, turismo e retirada da vegetação, que comprometem sua integridade e podem reativar processos erosivos. Desse modo, a análise geomorfológica dessas Paleodunas exige uma abordagem integrada que considere a dinâmica entre clima, vegetação, dinâmica eólica, estrutura geológica e processos de rebaixamento sob sua superfície. Tais estudos contribuem não apenas para o entendimento da gênese dessas formas, mas também para a gestão ambiental, especialmente em

áreas suscetíveis à erosão como ainda ao processo de desertificação ou ao avanço de dunas móveis em caso de desmatamento.

Essas formações, portanto, são importantes indicadores paleoclimáticos, pois registram variações nos regimes climáticos e nas dinâmicas sedimentares do passado. Suguio e Martin (1996), por exemplo, identificaram dunas fixas formadas durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno, que hoje se encontram inativas e vegetadas, compondo a paisagem de áreas como o Pantanal e os Cerrados do Brasil Central.

Além das planícies costeiras, as Paleodunas também podem ocorrer sobre superfícies rebaixadas, que são relevos aplainados pela longa atuação de processos erosivos sob influência estrutural.

As superfícies rebaixadas (figuras 23), são formas de relevo planas ou suavemente onduladas, originadas pela ação prolongada de processos de denudação, como a erosão e o intemperismo, sob forte influência da estrutura geológica local (dobras, falhas e litologia). Representam estágios avançados de aplainamento do relevo, sendo resultado da interação entre fatores estruturais e exógenos, e são amplamente discutidas na Geomorfologia Clássica e Moderna.

Figura 23: Superfícies rebaixadas no município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria pesquisa (2024)

As superfícies rebaixadas, são caracterizadas por um relevo constituído por superfícies mais baixas do que os terrenos circunjacentes (Dantas; Sander; Jacques, 2023). Segundo os autores (*op. cit.*), o piso das depressões pode ser aplainado ou pouco entalhado, a

partir do desenvolvimento de espaiadas superfícies de erosão, como no caso das superfícies de aplainamento do Nordeste Semiárido.

Braun, (1971) afirma que as vastas superfícies de aplainamento, que constituem o cenário das superfícies rebaixadas no território brasileiro, compreendem áreas de erosão mais modernas geradas no Neógeno. São superfícies que assinalam terrenos consistem de extensas e monótonas superfícies planas a suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral do relevo em qualquer tipo de litologia (Dantas; Sander; Jacques, 2023).

Durante o trabalho de campo foi possível identificar essas superfícies rebaixas com relevo planos e superfície plano à suave ondulado que favorece a mecanização agrícola reduzindo o custo da atividade exercida e transporte de insumos na área de estudo para a implementação de culturas anuais.

A formação de superfícies rebaixadas é geralmente condicionada por fatores como a litologia resistente (granitos, quartzitos) que forma elevações residuais; a estrutura geológica favorável ao recuo paralelo das vertentes; o clima semiárido ou sazonalmente seco, que favorece a predominância da erosão física; e o tempo geológico prolongado, permitindo a evolução de longos ciclos de denudação.

Segundo Ross (1992), essas superfícies preservam a estrutura geológica subjacente, sendo consideradas como superfícies estruturais, por sua dependência da resistência diferencial das rochas. As zonas de contato entre diferentes litologias influenciam o desenvolvimento de relevos residuais, como inselbergs, e contribuem para a compartimentação da paisagem.

Em Santana do Maranhão, essa classificação geomorfológica de Dunas fixas (Adf), baseada no projeto RadamBrasi (Brasil, 1973), cuja escala é de 1:250.000, encontra-se na porção norte (Adf) na divisa com o município de Tutóia/MA. Já as Superfícies rebaixadas, transcorrem toda porção central do município até os limites com os municípios de Paulino Neves e Tutóia (ao Norte), de São Bernardo (a Leste), Santa Quitéria do Maranhão (ao Sul) e Barreirinhas (a Oeste).

Os tabuleiros **identificados na área de estudo** caracterizam-se por um relevo tabular sustentado por rochas sedimentares pouco litificadas de idade Neógena. São, portanto, posicionados, invariavelmente, em cotas baixas, constituídos por extensas superfícies extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes de dissecação fluvial recente (Dantas; Sander; Jacques, 2023).

Essas formas de relevo apresentam baixas amplitudes, entre 20 e 50 metros de desnivelamento e declividades inexpressivas (Dantas; Sander; Jacques, 2023), não sendo diferente na área de estudo, onde a altitude varia entre 14 e 120 metros, demonstrando uma

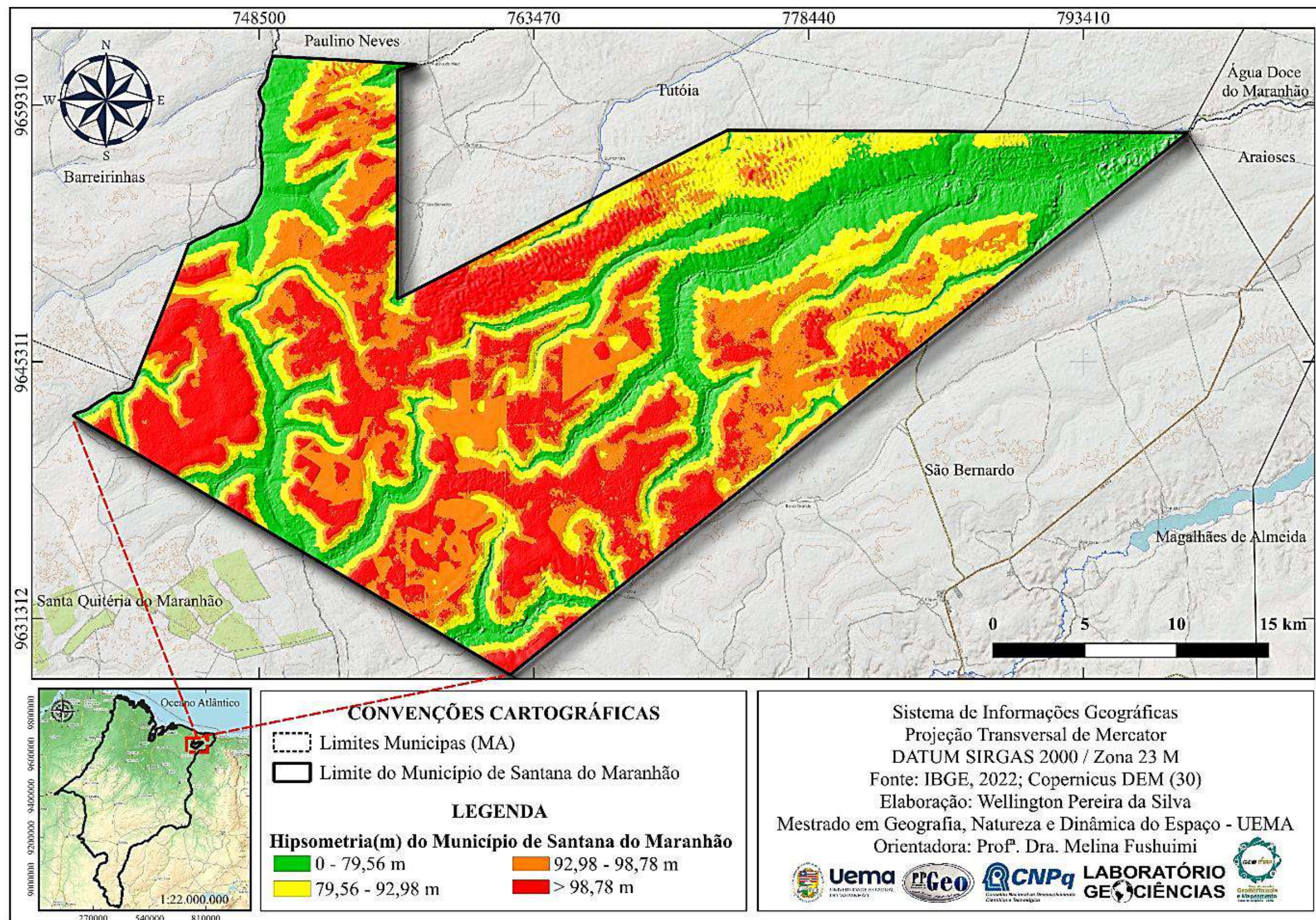
configuração semelhante em relação ao que apresenta a literatura quanto ao desnivelamento e declividades dos tabuleiros.

Desse modo, compreende-se que as extensas superfícies elaboradas em rochas sedimentares, apresentando em algumas áreas vales aplainados e vales pedimentados com retomada de erosão recente (Brasil, 1973), bem como a faixas de dunas fixas identificadas nas atividades de campo, demonstraram percentual de areia superior a 89%, demonstrando o afloramento das rochas sedimentares em alguns pontos, conforme observado na área de estudo. Essa percepção ajuda a compreender a existência de solos como os Neossolos Quartzarênicos Órticos e os Latossolos Amarelos Distróficos e, em partes dos trabalhos de campo identificou-se ainda áreas de Latossolos concrecionários lateríticos.

Desta forma, o relevo do município de Santana do Maranhão é caracterizado pela composição plana ou suave ondulada, conforme apresenta-se no mapa de altimetria/hipsometria (figura 24) da área de estudo. De acordo com Florenzano (2008), a altimetria é a altura da forma de relevo, expressando a diferença entre a cota máxima e a mínima. Nesse aspecto, o ponto mais elevado do município de Santana mede aproximadamente 120,22 m de altitude e o ponto mínimo 14,46 m.

Os valores mais baixos de altitude ($\leq 79,56$ m) estão nos vales que circundam os principais rios que transcorrem o município, de Norte a Sul e de Leste a Oeste, sendo que o valor mínimo encontrado foi de 14,46 metros, na confluência do riacho da Grotas com o rio Magu (a jusante) nas mediações dos municípios de Araiões e Água Doce do Maranhão. Enquanto que os pontos mais elevado, encontram-se mais ao sul da área de estudo, com uma elevação de 120,22 metros, localizado nas proximidades do povoado Buriti Seco, nos limites dos municípios de Barreirinhas e Santa Quitéria do Maranhão, sobrepondo ainda a parte central do município, onde se encontram as principais nascentes dos rios Magu, Buriti, Preguiças e Barro Duro e de seus afluentes.

Figura 24: Mapa altimétrico do município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

5.4.3. Caracterização pedológica da área de estudo

A definição de solos, de acordo com o Vocabulário de ciência do solo, de Curi (1993 apud IBGE, 2015, p. 39), é definido como “material mineral e/ou orgânico inconsolidado na superfície da Terra que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres”. Outra definição de solos dentro do campo de estudos geográficos, é o conceito definido por Santos *et al.* (2018), como sendo “uma coleção de corpos naturais, tridimensionais e dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta”.

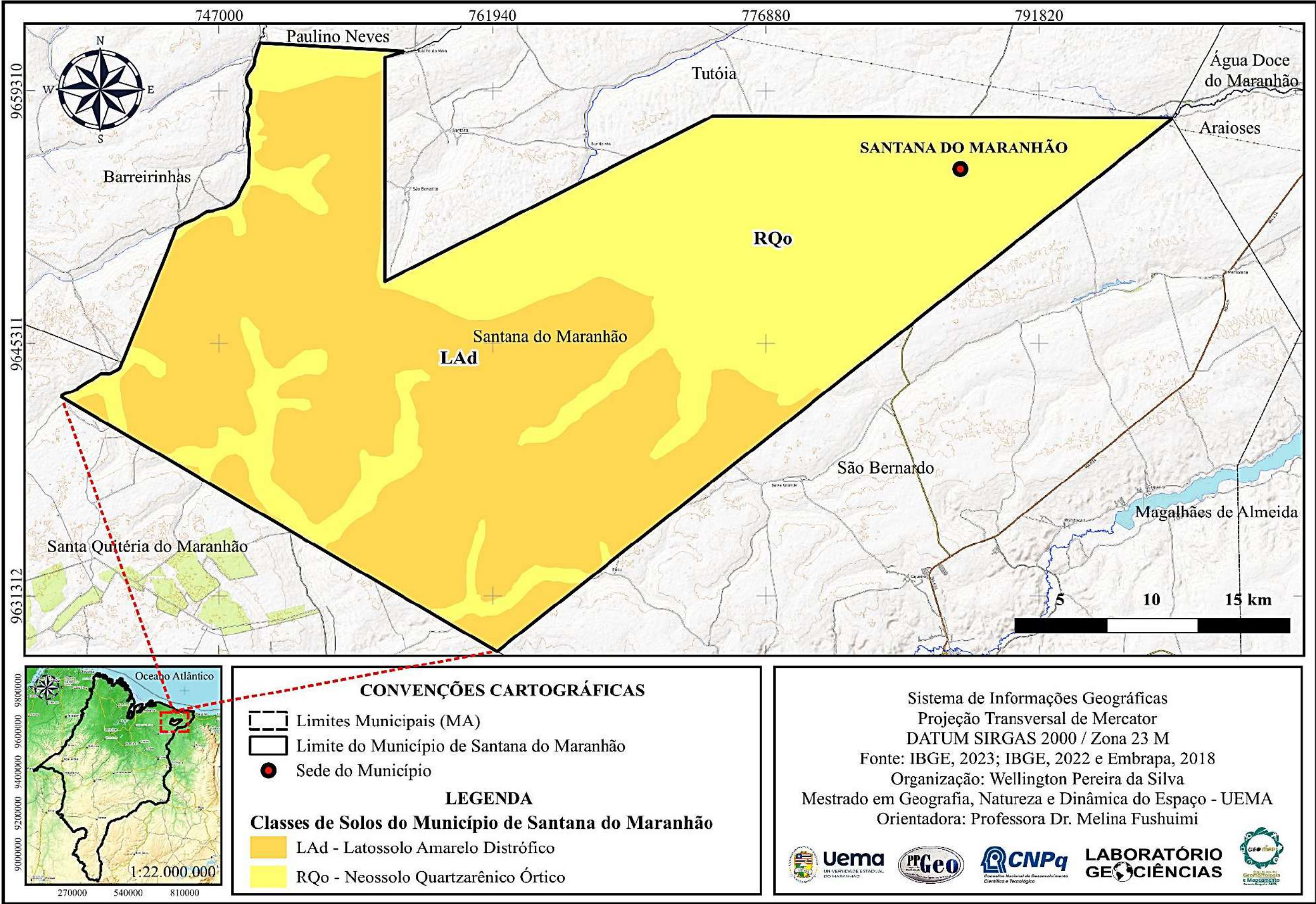
Os solos são de suma importância para os diversos agentes sociais, por possuir múltiplas funções desde o bem-estar, proporcionando qualidade de vida, como também é indispensável para a produção de alimentos, utilizados para o meio de subsistência do indivíduo. Entende-se que o solo é elemento essencial às diferentes formas de vida no planeta. Sendo a camada superficial da Terra, têm importantes funções para a fauna, a flora e para a vida em geral. Isso permite compreender o quão é importante conservá-lo e preservá-lo para a manutenção da vida no planeta.

Lepsch (2011) afirma que os solos são corpos naturais que fazem parte de vários tipos de paisagem. Para o autor, ao observarmos as inúmeras e diferentes paisagens, veremos diferentes tipos de solos, com pequenas ou grandes diferenças entre eles, as quais podem estar relacionadas aos fatores que as condicionam como o clima, o relevo, a vegetação e a geologia.

Para que seja constituído, o solo é resultado de cinco variáveis interdependentes denominadas fatores de formação do solo, a saber: clima, organismos, material de origem, relevo e tempo (Reatto *et al.* 2008). Para os autores, para compreender a dinâmica e distribuição dos solos na paisagem, deve-se conhecer o ambiente que o cerca e como o homem interage com esses componentes da natureza, uma vez que ele faz parte dela.

Diante dessas percepções caracterizou-se os tipos de solos no município de Santana do Maranhão com base nas informações do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA/IBGE, 2023), através dos dados vetoriais (shapefile) do referido município, numa escala de 1:250.000, a área de estudo é composta de dois tipos de classes solos: Latossolos (Amarelo Distrófico) e Neossolos (Quartzarênico Órtico) conforme expressa a figura 25.

Figura 25: Mapa de Solos do município de Santana do Maranhão



Fonte: IBGE (2023), adaptado pela Própria Pesquisa (2024)

Latossolo, do latim *lat*, “tijolo”, caracteriza-se por solos muito intemperizados, sendo constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, ou seja, qualquer tipo de horizonte “A”, dentro de 200 cm a partir da superfície ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura, exceto hístico, com avançado estado de intemperização, muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (Santo *et al.* 2018). De acordo com o autor (*op. cit.*),

Esses solos são típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos (Santos, *et al.* 2018, p. 94).

Os Latossolos variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, o que é indicativo de formação em condições atuais ou pretéritas com um certo grau de gleização, sendo normalmente muito profundos, com espessura do *solum* raramente inferior a 1 m. Têm sequência de horizontes A, B, C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais (Santo *et al.* 2018).

No bioma Cerrado, mais de 95 % dos Latossolos são distróficos e ácidos, de baixa a média capacidade de troca catiônica e com níveis de pH em torno de 4,0 a 5,3 (Lopes, 1984; Adámoli *et al.*, 1986). Com isso, o manejo inadequado como desmatamento indiscriminado dos Latossolos pode causar graves danos ao ambiente, levando-o à formação de sulcos e voçorocas, especialmente nos Latossolos de textura média, pois eles apresentam elevada percolação de água ao longo do perfil (Sano *et al.* 2008).

Os Latossolos Amarelos Distróficos são solos com conteúdo de argila inferior a 200 g/kg-1 na maior parte dos primeiros 150 cm a partir da superfície do solo (Santo *et al.* (2018). Para Sano *et al.* (2008), quanto ao seu material de origem, os Latossolos Amarelos possuem características químicas (valores médios) e mineralógicas diferenciais dos Latossolos do bioma Cerrado com sedimentos areno-argilosos ou argilo-arenosos pertencentes ao Grupo Barreiras. Quanto às suas características morfológicas e físicas diferenciais dos Latossolos do bioma Cerrado.

São características proeminentes da faixa de transição (Ab’Saber, 2003), com fitofisionomia do bioma Cerrado, mas que são de fácil identificação dos solos na área de estudo.

Com exceção da textura, proposta por Santos *et al.* (2018), todas as outras características são identificadas na maior parte do município de Santana do Maranhão e uma menor proporção, a textura média, argilosa e muito argilosa, apenas na região Leste, próximos ao centro do município, nos limites entre os povoados Riachão, Santana Velha e a sede.

Os Latossolos Amarelos são solos altamente intemperizados, profundos e bem drenados, comuns em paisagens tropicais. Dentre suas principais características destacam-se a textura média à Argilosa, ou seja, apresentam maior teor de argila em comparação aos Neossolos, proporcionando melhor estruturação. No que se refere à estabilidade de agregados, esse tipo de solos apresenta boa estrutura granular e a presença de óxidos de ferro e alumínio aumentam a resistência à erosão. Demattê *et al.* (2004), destacaram que a influência da mineralogia dos Latossolos contribui para a estabilidade dos agregados e na erodibilidade desses solos.

Diante das avaliações dos impactos da agricultura no uso dos solos, Bertol *et al.* (2007) destaca a relação entre o manejo agrícola e a resistência dos Latossolos à erosão hídrica. Nessas condições, os Latossolos são solos que apresentam uma boa infiltração, ou seja, a permeabilidade, de moderada à alta, reduz o escoamento superficial e a erosão hídrica. Assim como os Neossolos, os Latossolos apresentam baixa fertilidade, apesar da alta estabilidade, são distróficos, ou seja, pobres em nutrientes e exigem correção para uso agrícola.

Neossolo provém da língua grega *neo*, que quer dizer “*novo*”, cujo sentido se remete a solos com pouco desenvolvimento pedogenético, ou seja, pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (Santos *et al.* 2018, p. 219).

De acordo com Santos *et al.* (2018), os Neossolos

[...] são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando alterações expressivas, ou seja, nenhum tipo de horizonte B diagnóstico, em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (Santos *et al.* 2018, p. 96)

Os Neossolos pertencem ainda à classe solos com horizonte A ou horizonte hístico com menos de 20 cm de espessura seguidos de camada(s) com 90% ou mais (expresso em volume) de fragmentos de rocha ou do material de origem, independentemente de sua resistência ao intemperismo (Santos *et al.* 2018, p. 97). De acordo com o autor, estão incluídos ainda aos Neossolos, os solos que foram reconhecidos anteriormente como Litossolos e Solos

Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas (Distróficas, Marinhas e Hidromórficas), incluindo também os solos com horizonte A húmico ou A proeminente, com espessura maior que 50 cm, seguido por contato lítico ou lítico fragmentário ou com sequência de horizontes A, C ou A, Cr .

Sano *et al.* (2008), destaca que os Neossolos Quartzarênicos são constituídos por solos profundos (pelo menos de 2 m), apresentando textura arenosa ou franco-arenosa, constituídos essencialmente de quartzo, com máximo de 15 % de argila e sequência de horizontes do tipo A-C. A vegetação natural predominante é a de Cerrado e/ou de Campo Cerrado. Segundo o autor, no bioma Cerrado, os Neossolos Quartzarênicos estão relacionados a sedimentos arenosos de cobertura e a alterações de rochas quartzíticas e areníticas, normalmente em relevo plano ou suave ondulado e ocupam em torno de 15 % desse bioma.

Os solos do município de Santana do Maranhão, são classificados de acordo com as classes do 1º, 2º e 3º nível categórico, sendo estes assim definidos: Latossolos Amarelo Distrófico e Neossolos Quartzarênico Órtico. O primeiro são solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA) e o segundo, são solos que não se enquadram nas classes anteriores, ou seja, que não possuem uma presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano, na maioria dos anos (Santos *et al.* 2018), dentre outras características citadas pelo autor.

Os Neossolos Quartzarênicos Órtico são solos sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico ou lítico fragmentário. São essencialmente quartzosos, tendo, nas frações areia grossa e areia fina, 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e praticamente ausência de minerais primários alteráveis (Santos *et al.* 2018).

Os Neossolos estão condicionados aos baixos teores de argila e de matéria orgânica e, conseqüentemente, à baixa capacidade de agregação de partículas, sendo muito suscetíveis à erosão e, quando ocorrem em cabeceiras de drenagem e adjacentes a mananciais, devem ser obrigatoriamente isolados e destinados à preservação (Santos *et al.* 2018).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos com predominância de areia. Suas principais características relacionadas à erodibilidade incluem a sua textura arenosa, com mais de 85%, apresenta baixa coesão entre partículas, tornando-se altamente suscetível à erosão hídrica e eólica. Desse modo, devido à sua granulometria, esses solos apresentam baixa retenção de umidade, favorecendo o transporte de sedimentos. São solos ainda que apresenta uma escassez

de matéria orgânica, pois reduz a agregação do solo e a estabilidade estrutural. Com isso, Oliveira *et al.* (2011) avaliaram a suscetibilidade dos Neossolos Quartzarênicos à erosão hídrica e destacaram a influência da baixa coesão do solo.

Outras características dos Neossolos, é a baixa Capacidade de Troca de Catiônica (CTC), o que favorece a baixa fertilidade dos solos em nutrientes, dificultando o estabelecimento da vegetação e aumentando a susceptibilidade à erosão. São solos que apresentam alta suscetibilidade à compactação, ou seja, podem formar crostas superficiais que aumentam o escoamento superficial e reduzem a infiltração (Silva *et al.*, 2015). Outro fator que influencia no escoamento superficial é a declividade e a cobertura vegetal contribui para a proteção dos Neossolos contra a erosão (Merten *et al.*, 2016). Por isso, são solos susceptíveis à erosão por apresentar baixa coesão, pouca estruturação e textura arenosa.

Quanto ao teor de matéria orgânica, são solos moderados, melhorando a coesão entre partículas e diminuindo a erodibilidade. Para o índice de erodibilidade, esses solos apresentam índices de Baixo a Moderado, devido à estrutura mais estável e maior teor de argila, mas pode aumentar em áreas degradadas.

Conhecer as propriedades e as classes de solos da área de estudo é um fator importante para compreender todas as demais características geoambientais de formação pedológica. Nesse sentido, destaca-se que os solos desempenham papel fundamental na dinâmica ambiental, principalmente diante da intensificação do uso da terra para produção em larga escala. Assim, com a mecanização agrícola e a expansão das lavouras em áreas de baixo custo, muitas vezes sem o devido manejo adequado, tornam esses solos susceptível à erosão. Convém destacar que a erodibilidade do solo, determinada por fatores como textura, estrutura, teor de matéria orgânica e permeabilidade, torna-se um indicador essencial para avaliar os riscos de degradação.

Dantas (2016) destaca que nos biomas Cerrado e Caatinga, ocorrem um incremento dos processos de morfogênese, pois, a despeito das baixas declividades, prevalece o desenvolvimento de solos rasos e pedregosos e os processos de erosão laminar são significativos. Esses processos são perceptíveis nas proximidades da sede do município de Santana do Maranhão, nas adjacências do povoado Santana Velha, conforme apresenta a figura 26, demonstrando que as características dos solos se associam aos Latossolos concrecionários lateríticos.

Figura 26: Latossolos concrecionários lateríticos no município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Essa suma, destaca-se que um absoluto domínio de processos de pedogênese, com geração de solos muito profundos e bem drenados, por vezes laterizados, apresentando baixa suscetibilidade à erosão (Dantas, 2016). Nessas condições, é possível reafirmar que as características tornam os tabuleiros com boa aptidão para múltiplas atividades econômicas, como empreendimento agrossilvipastoris ou complexos urbano-industriais (Dantas; Sander; Jacques, 2023). Entretanto, deve-se levar em consideração, os aspectos mineralógicos desses solos para perceber a aptidão agrícola destes, se estão realmente potencializados em macro e micronutrientes para o desenvolvimento das culturas desejadas.

De acordo com Ross (2005), os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas. Essas intervenções podem ocasionar tanto a fragilidade potencial quanto a fragilidade ambiental em diversas circunstâncias e ocasiões a depender da ação dos diversos agentes sociais modificadores do ambiente. Kawakubo *et al.* (2005) definiu a fragilidade potencial como a vulnerabilidade natural que um ambiente apresenta em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo. Já a fragilidade ambiental, para este autor, deve-se considerar, além das características físicas, os graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem sobre o ambiente.

A erosão é um dos principais processos de modificação da paisagem, podendo ser intensificada pelas atividades humanas; essa interferência pode ser percebida de forma direta

em áreas urbanas e rurais. Com isso, evidencia-se que a erodibilidades é um importante instrumento para avaliar a dinâmica dos solos diante das ações humanas e como esta interfere na dinâmica da natureza.

De acordo com Morgan (1995), a erodibilidade dos solos representa a suscetibilidade pedológica em resistir aos processos erosivos. Para o autor (*op. cit.* 1995), os fatores que afetam a erodibilidade são: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo. A erodibilidade não é uma propriedade estática ao longo do tempo. As práticas agrícolas, por exemplo, produzem modificações importantes nas características dos solos, alterando a sua erodibilidade. Nessa percepção, Bezerra (2011) destaca que [...] as chuvas são importantes agentes morfodinâmicos na modelagem do relevo terrestre, podendo intensificar o surgimento de processos erosivos, quando relacionada à alta erodibilidade e o precário manejo dos solos.

A caracterização dos solos a partir da erodibilidade é fundamental para compreender sua suscetibilidade à erosão e auxiliar no planejamento do uso da terra. Para fazer uma análise mais precisa, vários autores destacam a importância da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) sendo um importante instrumento na predição das perdas deste e no planejamento do controle da erosão hídrica. Esta Equação Universal de Perdas de Solo, foi desenvolvida nos Estados Unidos, por Wischmeier & Smith (1965, 1978) que, a erodibilidade incide no fator responsável pela susceptibilidade do solo à erosão hídrica, sendo condicionada, basicamente, por atributos mineralógicos, químicos, morfológicos, físicos e biológicos do solo (Dumas, 1965; Wischmeier; Mannering, 1969; El-Swaify; Dangler, 1977).

Nessas condições, não se aplicou a EUPS, pois visou-se apenas caracterizar os solos a partir das análises laboratoriais e através dos trabalhos de campo. Para isso, realizou-se a caracterização para os tipos de solos identificados na área de estudo. Para os Neossolos Quartzarênicos Órticos e os Latossolos Amarelos Distróficos, essa caracterização pode ser feita considerando parâmetros físicos, químicos e mineralógicos, além da estrutura e estabilidade dos agregados, fatores determinantes para a erodibilidade dos solos.

A tabela 4 a seguir, apresenta uma comparação da erodibilidade para melhor compreensão e caracterização dos solos, a partir dos aspectos da erodibilidade destes, na área de estudo:

Tabela 4: Comparação da Erodibilidade entre os Neossolos Quartzarênicos e os Latossolos Amarelo.

<i>Característica</i>	<i>Neossolos Quartzarênicos</i>	<i>Latossolos Amarelos</i>
<i>Textura</i>	Arenosa (muito solta)	Média a argilosa
<i>Estrutura</i>	Fraca, pouca agregação	Boa, granular
<i>Infiltração</i>	Alta, mas superficial	Moderada a alta
<i>Matéria Orgânica</i>	Muito baixa	Moderada
<i>CTC</i>	Muito baixa	Baixa
<i>Suscetibilidade à erosão</i>	Alta	Baixa a moderada

Fonte: Própria Pesquisa (2025)

Desse modo, compreende-se que os Neossolos Quartzarênicos apresentam alta erodibilidade devido à textura arenosa e baixa coesão, enquanto os Latossolos Amarelos possuem melhor estruturação e menor suscetibilidade à erosão. Medidas como cobertura vegetal permanente, rotação de culturas e práticas conservacionistas são essenciais para minimizar a degradação desses solos.

5.4.4. Caracterização Hidrográfica do município de Santana do Maranhão

A faixa de transição proposta por Aziz Nacib Ab'Saber, com fitofisionomia de Cerrado é reconhecida pelo grande potencial hídrico e pela extensa biodiversidade que possui, ao longo de sua extensão. Essa característica apresenta o resultado de grandes e importantes bacias hidrográficas no Planalto Central do Brasil, por onde se estende o referido fitofisionomias deste bioma, como a bacia hidrográfica do São Francisco, Tocantins e Parnaíba. No que se refere a importância e a função do bioma Cerrado, Sena *et al.* 2021, destaca que:

A região do Cerrado funciona como um reservatório de água, o qual contribui no abastecimento de importantes bacias brasileiras. A capacidade do solo de armazenar água e de propiciar que a planta expresse seu máximo potencial produtivo está condicionada a uma série de atributos, bem como porosidade, textura, estrutura, densidade, compactação, resistência mecânica à penetração, condutividade hidráulica, umidade e taxa de infiltração. E que por sua vez são dependentes, principalmente, do manejo da cadeia da agropecuária.

Diante disso, vê-se na faixa de transição, com as características do bioma Cerrado, um importante fator para a manutenção e preservação deste bioma. Sendo este uma verdadeira

“esponja”, responsável pela alimentação e das bacias hidrográficas do país. No que se refere, à bacia hidrográfica, Barrela *et al.*, (2001), denomina-a como,

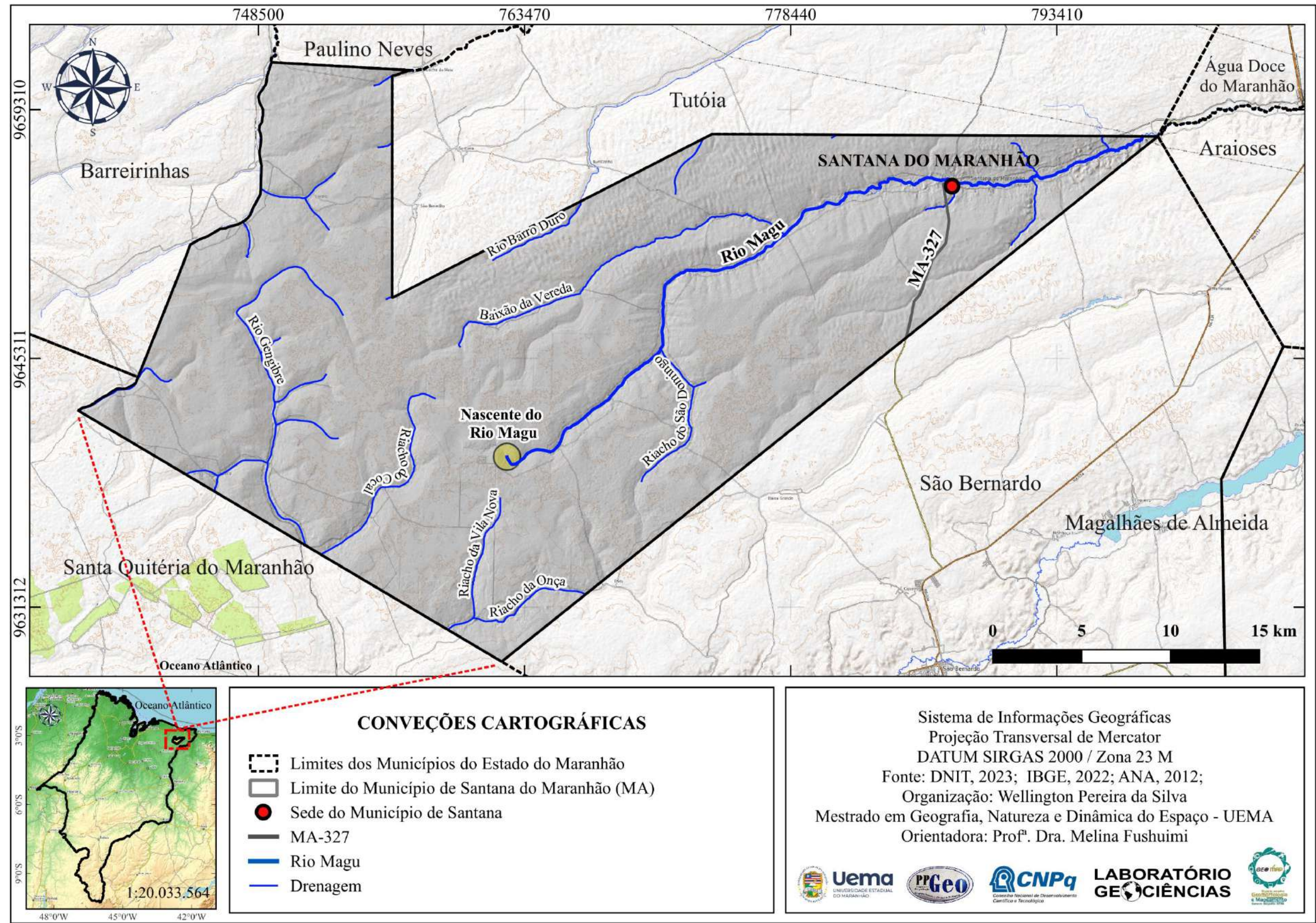
[...] um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, delimitada pelas regiões mais altas do relevo – os divisores de água – que direcionam o fluxo das águas provenientes das chuvas, por meio dos escoamentos superficial e subterrâneo, formando nascentes, riachos e, na medida em que descem das áreas mais altas em direção aos oceanos, tornam-se rios de maior porte e vazão.

Acerca desses conjuntos de informação que são essenciais para o presente estudo, traz-se para a área do trabalho, a delimitação da caracterização hidrográfica do município de Santana do Maranhão que, integrando à faixa de transição, apresenta características tais quais já foram mencionadas anteriormente. Assim, a sub-bacia do rio Magu, tem importante fluxo de água para a vida da população que reside ao longo do curso deste, como também para a fauna e a flora.

De acordo com Gomes (2008), a palavra Magu é uma palavra indígena que significa magia, luz, algo que brilha e encanta. Segundo o autor (Ibid., 2008), os índios *Araios*, que eram descendentes dos Tremembés, habitavam a margem do rio, chamavam-no de Magu pela transparência das águas, as quais nelas, viam os peixes com muita nitidez e a própria imagem refletida no espelho das águas claras (Ibid., 2008, p. 37).

O rio Magu nasce nas imediações do povoado Cabeceira do Magu, há aproximadamente 35 km da sede do município, Santana do Maranhão. Com base na projeção do mapa da sub-bacia do rio Magu (figura 27), numa escala de 1:250.000, o mesmo percorre este município numa extensão de 48,7 km, até o limite com o município de Água Doce do Maranhão onde transcorrendo, aproximadamente, 50 km, desemboca no rio Santa Rosa – braço do Parnaíba – no Povoado João Peres, em Araiões – MA (Gomes, 2008).

Figura 27: Mapa de localização do alto curso do rio Magu no município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria pesquisa (2024)

Para abastecimento do referido rio, têm-se ainda seus principais afluentes, como o Baixão da Vereda (Figuras 28 e 29), riacho do São Domingo (Figura 30), Baixão da Borracha, Baixa do Itaquipé e riacho da Grotá. O Baixão da Vereda é o maior afluente do rio Magu, com aproximadamente, 22,10 km de extensão, transcorrendo os povoados: Vereda 3 (nascente), Vereda 2, Vereda 1, Veado, Coqueiro e Riachão onde deságua no rio principal. Destaca-se que parte das matas ciliares estão preservadas. Entretanto, o baixo volume de água nos rios é devido aos desmatamentos e queimadas próximas às nascentes e aos usos intensos da terra a montante.

Figura 28: Baixão da Vereda, principal afluente do rio Magu nas mediações dos povoados Vereda 2 e Vereda 1.



Fonte: Própria pesquisa (2024)

Figura 29: Baixão da Vereda, afluente do rio Magu, nas imediações do povoado Vereda 1.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Figura 30: Riacho do São Domingos – afluente do rio Magu



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Como observado nas imagens, ao longo de toda extensão da sub-bacia do rio Magu é comum encontrar, a vegetação de Buriti (*Mauritia flexuosa*). Os buritizais ocorrem geralmente em solos mal drenados (brejosos), sendo este o quarto subtipo de Palmeiral, que está presente nos fundos de vales pouco íngremes do Brasil Central (Ribeiro; Walter, 2008). Para os autores, muitas vezes o Buritizal tem sido referido como Vereda, uma fitofisionomia em que há necessariamente um estrato arbustivo-herbáceo acompanhando-o sem a formação de dossel e sem um trecho de campo associado.

Desta forma, salienta-se que a sub-bacia do rio Magu, como identificada nas figuras 27, 28 e 29, são compostas pela presença dos buritizais que formam dosséis descontínuos embora não haja uma vegetação arbustiva herbácea associada de maneira típica, como na Vereda (Ribeiro; Walter, 2008). Para eles, o dossel dos Buritizais possui altura variável de 12m a 20m e forma uma cobertura quase homogênea ao longo do ano.

A outra fitofisionomia do Cerrado identificada nas nascentes cujo nome foi-lhe interposto, é a Vereda (Baixão da Vereda). Uma fitofisionomia com a Palmeira arbórea (*Mauritia flexuosa*) emergente, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas (Ribeiro; Walter, 2008). Essa característica é observada ao longo de toda extensão do Baixão da Vereda, um dos principais afluentes do rio Magu.

O rio Magu é um importante recurso natural para a sobrevivência e subsistência das famílias que moram e sobrevivem da agricultura familiar, às margens do mesmo. Entretanto, esses cursos d'água vem enfrentando uma série de impactos ambientais, desde a deposição

irregular de lixos no rio, com despejos de dejetos “*in natura*” na zona Urbana, como ainda com os impactos dos desmatamentos e das queimadas ao longo dos cursos dos rios.

A nascente, por exemplo, do ponto do afloramento do lençol freático na superfície do terreno (“olho d’água”) até o limite da lâmina d’água encontrada sob a superfície, são aproximadamente 5 km que se encontram secos, conforme mostra a figura 31 e 32.

Figura 31: Nascente do rio Magu nas mediações do povoado Cabeceira do Magu, completamente seca.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Figura 32: Leito do rio Magu, próximo a nascente secundária.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Ao longo do estudo, descobriu-se que a extensão do rio Magu, desde a nascente primária, está diminuindo ao longo dos anos, ou seja, a primeira nascente encontrava-se dentro do campo de eucalipto, mas que, com o avanço do desmatamento ocasionado pelo grande empreendimento agropecuários e pelas intensas queimadas próximas às nascentes (Figura 33), o recuo do rio é perceptível.

Figura 33: Queimadas da vegetação nativa próximo às nascentes do Rio Magu



Fonte: Própria pesquisa (2024)

Em busca de preservar e manter a nascente do rio em estado de conservação, a ONARMA – Ong Amigos do Rio Magu, em parceria com comunidade local (Cabeceira do Magu), em cercaram-na para evitar que essa área fosse desmatada e que ocorressem danos maiores à nascente. Identificou-se no local placas como as das figuras 34 (ao lado Oeste do rio) e figura 35 (ao Sul, onde antes era o curso do rio) como forma de sensibilizar a importância da preservação da nascente.

De acordo com a legislação brasileira, prevista no Inciso 1º, do Art. 4º da Lei nº 12.727, de maio de 2012, considera-se Áreas de Preservação Permanente – APP, “as faixas marginais de qualquer curso d’água natural, desde a borda da calha do leito regular”, levando-se em consideração os limites mínimos que variam entre “30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura, até “500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros” (Brasil, 2012).

Figura 34: Placa indicativa de Área de Preservação Permanente – APP do Rio Magu (Oeste)



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Figura 35: Placa indicativa de Área de Preservação Permanente – APP do Rio Magu (Sul)



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

As imagens mostram o quanto é importante a preservação das nascentes e a luta contra os impactos ambientais são importantes. Destaca-se que o município de Santana do Maranhão possui grande potencial hídrico, como demonstra a tabela 5, com os principais cursos d'água e suas dimensões ao longo da área de estudo. Sem a iniciativa de preservação das nascentes, esses cursos poderão secar em definitivo, pois a retirada da cobertura vegetal e as queimadas às margens dos rios são fatores que vem causando impactos ambientais que tendem para que os rios sequem.

Tabela 5: Rios, Riachos e Baixões que compõem a rede hidrográfica do município de Santana do Maranhão e seus respectivos comprimentos

NOME DO RIO	Comprimento (km)
Rio Magu	48,70
Rio Gengibre	24,44
Baixão da Vereda	22,10
Riacho do Cocal	13,43
Riacho do São Domingo	9,58
Riacho da Vila Nova	8,82
Riacho da Onça	7,28
Rio Preguiça ou Rio Grande	6,40
Rio Barro Duro	6,29
Riacho do Buriti Seco	5,92
Riacho do Guarimã	5,14
Riacho do Centro Eusébio dos Reis	4,85
Baixão da Estiva	4,46
Baixão da Vertente	3,89
Riacho Baixão do Cocal	3,71
Baixão do São Bento	3,42
Baixão da Borracha	2,78
Baixa do Itaquipé	2,64
Riacho do Meio	2,28
Riacho da Cabeceira do Guariba	2,20
Riacho da Grota	1,01
Riacho da Santaninha	0,83
Baixão do São Domingos	0,73
Riacho Coroatá	0,38
Riacho Santo Hilário	0,38

Fonte: Própria Pesquisa (2024)

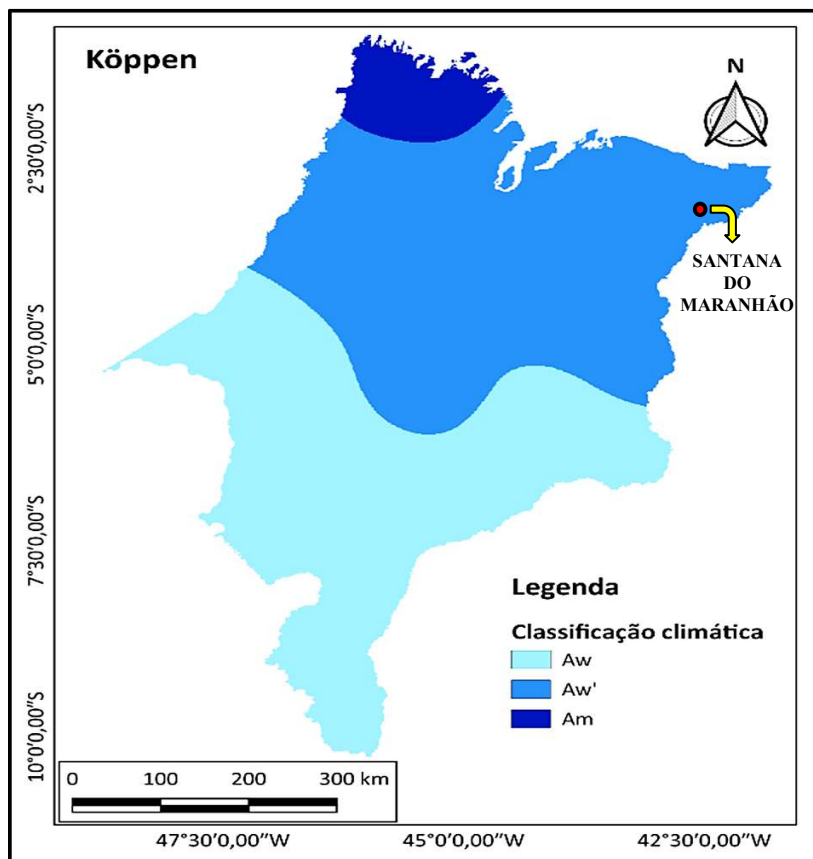
A identificação desses rios, riachos e baixões, demonstram o grande potencial hídrico da área de estudo. Partes desses, estão passando por uma série de ameaças com a expansão agrícola em direção às nascentes. Como resultado, muitas nascentes, principalmente do rio Magu, vêm sofrendo com esses impactos chegando a secar o primeiro afloramento do lençol freático.

5.4.5. Caracterização Climática do município de Santana do Maranhão

A área de estudo está localizada no município de Santana do Maranhão, sendo este, um dos 217 municípios que compõem o estado do Maranhão. Com uma extensão territorial de, aproximadamente, 932,030 km², faz com que ele ocupe a 108ª colocação no estado, comparado a outros municípios, é o 5º na Região Imediata de Tutóia-Araíoses a qual este município está geograficamente instalado, situando-se ainda, na Mesorregião Leste Maranhense e Microrregião Baixo Parnaíba Maranhense (IBGE, 2022).

De acordo com Espinoza Garrido (1982), o clima da faixa de transição com fitofisionomia de Cerrado, principalmente nas partes mais baixas, (como é o caso da área de estudo que apresenta elevação máxima de, aproximadamente, 120 metros de altitude), considerando a classificação de Köppen, é Aw (tropical chuvoso). De acordo com Corrêa *et al.* (2023), ao classificar o clima para o estado do Maranhão, com base na classificação de Köppen, ressalta-se que o clima do município de Santana do Maranhão é Aw' (tropical com chuvas de verão e outono) (figura 36).

Figura 36: Mapa de classificação climática do estado do Maranhão, segundo Corrêa (2023).



Fonte: Corrêa *et al.* 2023. Adaptado pela pesquisa (2024)

O clima da faixa de transição, com fitofisionomia de Cerrado é classificado como tropical chuvoso (Aw de Köppen), com invernos secos e verões chuvosos. A precipitação anual varia de 750 a 2.500 mm, com média de 1.500 mm, concentrando-se entre dezembro e maio. As temperaturas médias do mês mais frio ficam acima de 20°C. Há variações altimétricas importantes, com áreas que vão de menos de 300 metros até chapadas de 900 a 1.600 metros (Ribeiro & Walter, 2008). No município de Santana do Maranhão, com altitude máxima de 120 metros, o clima é classificado como Aw' (tropical com chuvas no verão e outono), segundo Corrêa *et al.* (2023). A média pluviométrica anual nessa faixa de transição com fitofisionomia de Cerrado varia de 1.450 a 1.599 mm, com temperaturas entre 28,5°C e 28,9°C (IMESC, 2021). A estação seca e a chuvosa são bem definidas, influenciadas por fatores como a Frente Polar Antártica, a Alta Pressão do Atlântico e a Frente Equatorial (Nimer, 1989; Espinoza Garrido, 1982).

Baseado nos estudos dos referidos autores (*op. cit.*), foi possível concluir que o clima do município de Santana do Maranhão está sob influência do clima Tropical Zona Equatorial, caracterizado sob duas estações bem definidas, sendo o período chuvoso de dezembro a maio e período seco e quente, de junho a novembro.

Dados do IMESC (2024) apontam que as temperaturas são elevadas com baixa amplitude térmica. De acordo com o Instituto, a umidade relativa do ar anual apresenta-se entre 76% e 79% e os totais pluviométricos oscilam de 1.200 mm a 1.600 mm. As temperaturas médias anuais são superiores a 27°C, diferentemente daquela apresentada pelo IBGE, para o ano de 2002, em que a temperatura média era > 18° C em todos os meses. Nos meses quentes e secos, a sensação térmica chega a ser superior a 38° C, por ocasião das intensas queimadas provocadas propositalmente que ocorrem nesse período do ano e/ou para renovação da pastagem e ainda para limpeza de terrenos.

Essas características interpostas para a área de estudo são cruciais para compreender o potencial hídrico e porque há a expansão dos usos e como estes vêm ocasionando fortes impactos ambientais tanto pelos avanços da agropecuária quanto pelas fortes queimadas no município de Santana do Maranhão. Os resultados desses impactos, como as informações gerais do presente estudo, serão apresentados no capítulo a seguir, demonstrando que se não houver uma interferência da sociedade frente aos danos acarretados pelos usos excessivos, a tendência é que os rios serão totalmente extinguidos em um período curto de tempo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Santana do Maranhão localiza-se na Região Geográfica Imediata de Tutóia–Araioses, na Região Geográfica Intermediária de São Luís (IBGE, 2017). Os pontos extremos são representados com as seguintes coordenadas: Ponto 1: -3° 3'21.07" Sul (Latitude) e -42°45'27.10" Oeste (Longitude); Ponto 2: -3°13'58.70" Sul (Latitude) e -42°51'18.23" Oeste (Longitude); Ponto 3: -3°21'37.76" Sul (Latitude) e -42°38'25.71" Oeste (Longitude) e o Ponto 4: -3° 5'33.05" Sul (Latitude) e -42°18'33.47" Oeste (Longitude).

Para a definição desses pontos, utilizou-se o “*Memorial descritivo de demarcação e delimitação do perímetro Urbano do município de Santana do Maranhão*”, fazendo algumas correções com base nas imagens de satélites e na malha municipal do IBGE (2022), do referido município. Pois a maioria dos pontos propostos no referido memorial, encontravam-se fora do limite municipal.

O município encontra-se totalmente dentro da Faixa de Transição (Ab’Saber, 2003) com fitofisionomia de Cerrado. Esse fato tem impulsionado um olhar minucioso para entender os avanços agrícolas na região. Essa expansão agrícola ocorreu a partir da segunda metade dos anos 1980, especialmente no cultivo de grãos.

De acordo com as informações da Secretaria de Comunicação Social, do Governo Federal, houve um aumento no desmatamento no bioma Cerrado de 9% no período de agosto de 2023 a julho de 2024, totalizando 7.015 km² de área de supressão de vegetação nativa, e 6.341 km² entre agosto de 2022 e julho de 2023. Dentre as áreas desmatadas, os estados do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) concentram 75% da área sob alertas de desmatamento no bioma, sendo que o único, dos quatro estados que registrou queda no mesmo período foi o estado da Bahia, um total de 52,4%. Os demais estados registraram aumento de 58,6% (Tocantins); 31% (Maranhão); e 14,7% (Piauí). No mês de julho, no entanto, o bioma teve redução de 26,7% quando comparado ao período anterior (Brasil, 2024).

Esses indicativos mostram o quanto os avanços dos usos agrícolas estão suprimindo a vegetação nativa do Cerrado, fortalecidos pelos avanços tecnológicos e pela promessa da alta produtividade nessa região do MATOPIBA. Esses fatores deixam o bioma Cerrado sob alerta, uma vez que situam-se os aquíferos Guarani, Bambuí e Urucuaia, que são de extrema importância para os principais rios do continente.

A vegetação encontrada na área de estudo, vem passando por um amplo processo de desmatamento com os avanços das fronteiras agrícolas. Com isso, a área florestal (IBGE, 2013), vem sofrendo com os avanços desses usos, tanto da agricultura convencional, quanto

pela tradicional, tornando-a numa vegetação secundária mista (Bezerra 2011), como resultado da expansão agrícola. Partes dessa devastação, há pouca recomposição da vegetação nativa, que ainda sofrem com fortes queimadas anualmente, nos períodos de julho a dezembro (Figura 37), predominando os campos limpos e o sistema de capoeira.

Figura 37: Queimadas realizadas anualmente, de julho a dezembro, para renovação da pastagem.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

A partir dessa percepção da paisagem na área de estudo e o quanto ela está sendo impactada pelos diferentes usos da terra, buscou-se através dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), realizar um mapeamento do *Índice de Vegetação por Diferença Normalizada* (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI). Para isso, utilizou-se a as bandas 8 (NIR) e 4 (RED), das imagens do Sentinel-2 L2A, de julho de 2024. Para definir o índice de reflectância das imagens, foi utilizada a Calculadora Raster do QGis, aplicando-se a fórmula: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$. A finalidade deste mapa é apresentar a espacialização da vegetação verde e detectar as alterações que vêm ocorrendo na área de estudo.

Ponzoni e Shimabukuro, (2007) destaca que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), permite caracterizar e quantificar parâmetros biofísicos em áreas vegetadas, sendo um modelo resultante da combinação do nível de reflectância em imagens de satélites nas bandas do vermelho e no infravermelho próximo. Portanto, uma importante

ferramenta que oferece uma representação confiável da dinâmica da vegetação, sendo essencial para monitoramento ambiental e apoio à gestão territorial.

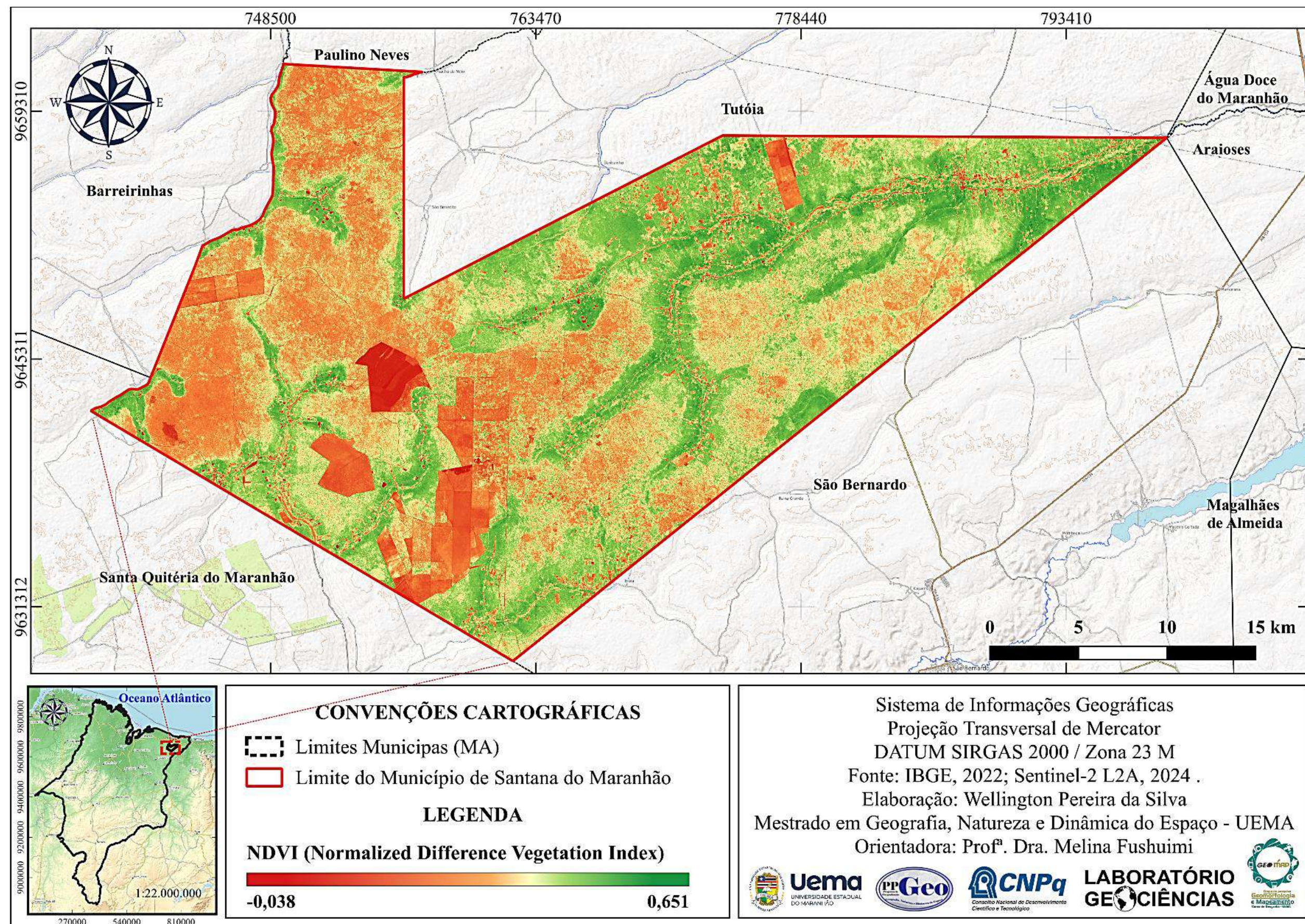
De acordo com Lopes *et al.* (2010a) o NDVI, na avaliação da densidade da cobertura vegetal tornaram-se possível o monitoramento da vegetação em escala global, fato que elege-o como um indicador biofísico indispensável aos estudos de avaliação e monitoramento sazonal e interanual da degradação do ambiente.

O mapa (figura 38), foi elaborado com o objetivo de identificar a evolução e as mudanças da vegetação, sobretudo no ano de 2024 (ano de coleta da imagem processada). Assim, para interpretar esses avanços, Santos & Negri (1997), acentuam que o NDVI varia de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é o vigor da vegetação, mais densa a cobertura vegetal e maior a atividade fotossintética.

Como resultado, detectou-se que as mudanças ocorridas foram gigantescas diante do cenário dos avanços dos usos da terra. Partes dessas reflectâncias mostram que as áreas mais afetadas (vermelha), foram os campos de sojas, pastagens, solo exposto e partes dos tabuleiros que sofrem anualmente com as queimadas, pois restam dessas, apenas as áreas (parcialmente) descobertas, sem muitas condições de se restabelecerem rapidamente fora do período chuvoso que se estende de dezembro (às vezes, janeiro ou fevereiro) a maio (com poucas chuvas em junho).

Por fim, compreende-se que essas áreas são pouco utilizadas para a agricultura, seja ela familiar ou tradicional. Portanto, analisá-las, a partir dessa percepção da paisagem, ajuda no planejamento ambiental, visando melhor compreensão do cenário atual, pois a análise integrada da paisagem permite uma avaliação dos parâmetros ambientais, objetivando a recuperação dessas áreas degradadas, do ponto de vista socioambiental.

Figura 38: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) do município de Santana do Maranhão, cujo objetivo é identificar a evolução.



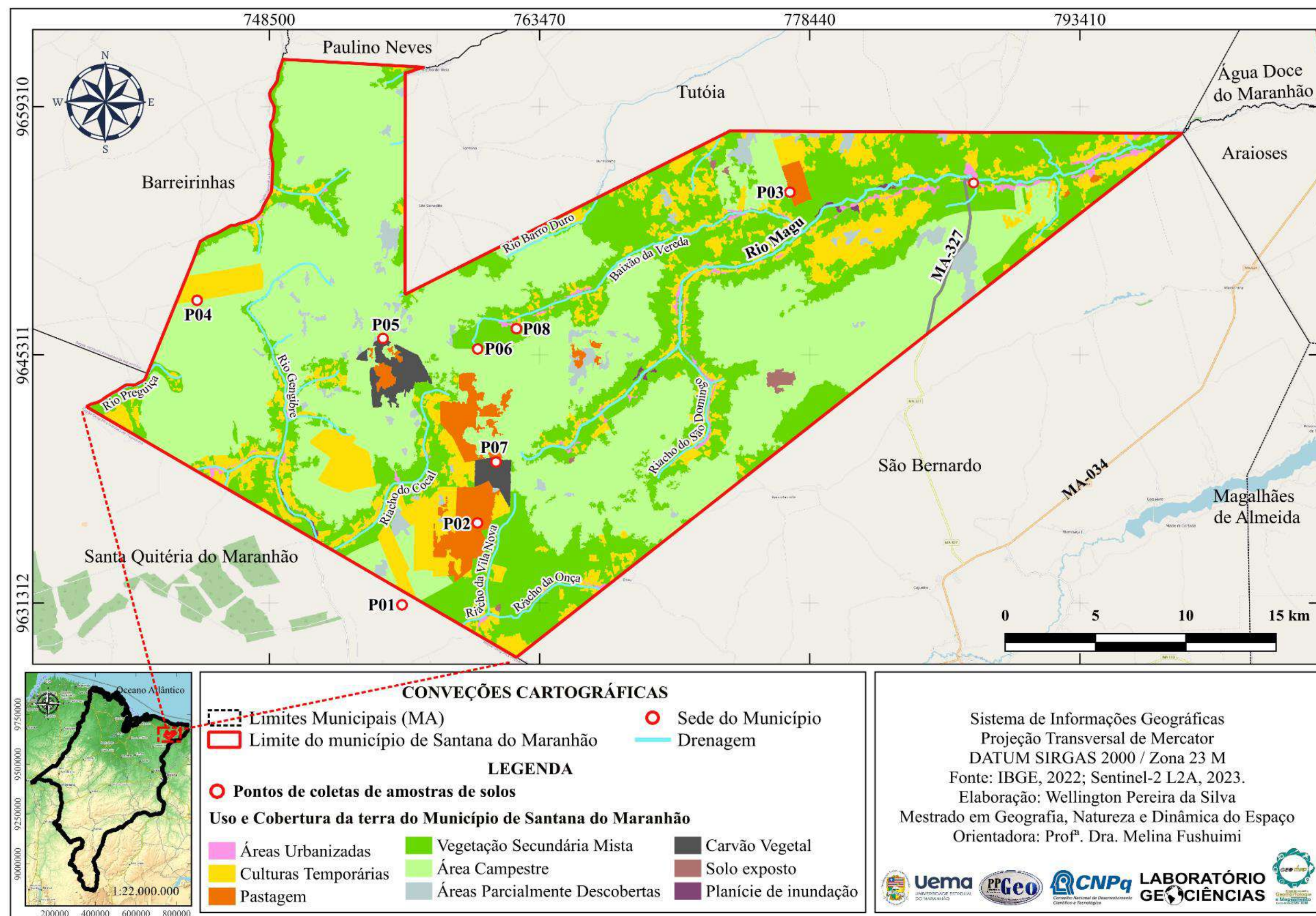
Fonte: Própria pesquisa (2024)

6.1. Usos e cobertura da terra no município de Santana do Maranhão

No município de Santana do Maranhão, determina-se as seguintes categorias de uso e ocupação da terra: Áreas urbanizadas (construídas), Culturas temporárias, Pastagem, Vegetação secundária mista, Área Campestre, Áreas parcialmente descobertas, Carvoaria, Solo exposto e Planície de inundação, conforme o mapa de uso e cobertura da terra apresentado na figura 39. Esses usos e coberturas são resultados do trabalho de campo *“in loco”* e da classificação supervisionada realizada em SIG – Sistemas de Informações Geográficas, através de Geoprocessamento com o Software livre QGis 3.34.

Dentre os usos identificados, destaca-se os usos agrícolas da monocultura da soja e milho, que vem crescendo exponencialmente, como ainda a produção de carvão vegetal, que apresenta extensas áreas descobertas, por ocasião da extração de madeiras para essa produção; pastagens destinadas à bovinocultura, em menor proporção e, a agricultura tradicional ou familiar, com a produção de mandioca, milho, feijão para consumo doméstico. A seguir, serão apresentadas as características de cada uso e cobertura identificados.

Figura 39: Mapa de uso e cobertura da terra do município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Áreas urbanizada (construídas)

O município de Santana do Maranhão é um município predominante rural. Sua área urbana (figura 40), corresponde a 1,99 km² (IBGE, 2023), representando apenas 4,68% de todo território santanense. No centro da cidade percorre o rio Magu no sentido Oeste (a montante) / Leste (a jusante), que a divide em duas partes: Norte e Sul. Na parte Sul se encontram a Prefeitura, o Hospital Municipal além de comércios e lojas. A parte Norte, encontra-se a Igreja Matriz de Sant'Ana e vários outros comércios, que fazem o fluxo maior nessa parte da cidade.

Figura 40: Bairro Centro de Santana do Maranhão, com a Av. Roseana Sarney ao fundo, rio Magu, que divide a cidade, a Av. Monsenhor Porcínio ao centro e a Igreja de Sant'Ana.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

De acordo com o presente estudo, as áreas construídas (ou áreas urbanizadas conforme nomenclatura do IBGE, 2013) aqui consideradas, compreende a sede do município, seus bairros e todos os povoados do município, com um total de 7,68 km², correspondendo a 0,82% de toda superfície da área de estudo.

As principais vias são a Rodovia MA 327 que interliga o município de Santana do Maranhão ao município de São Bernardo. A referida rodovia encontra-se com a Avenida Roseana Sarney (figura 41) na entrada da cidade, passando em frente à prefeitura municipal e percorre até o Bairro São José. A Avenida Monsenhor Porcínio e a Rua Ida Martins da Silva, que fazem a interligação entre as partes Norte e Sul, no centro da cidade.

Figura 41: Avenida Roseana Sarney e prefeitura municipal de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa

A partir do Bairro São José, partindo no sentido Leste, à margem direita do rio Magu (a jusante) em direção ao Distrito de Canabrava, no Município de Água Doce do Maranhão, têm-se a Rua Bernardo Pereira da Silva e Neide Costa, ligando os povoados Tomás Corrêa, Bacuri até chegar ao povoado Baixa Funda, último povoado de Santana do Maranhão, no limite com Tutóia/MA.

De acordo com a malha municipal de Santana do Maranhão, pertencem ao referido município, 28 povoados, a Sede Municipal e o Bairro São José. De acordo com o IBGE (2022), esses povoados foram desmembrados dos referidos municípios identificados na tabela 6, para fazer parte do município de Santana do Maranhão. Entretanto, o governo municipal reconhece apenas 18 desses, mais o Bairro São José, que fazem parte do município área de estudo. Embora estejam, teoricamente dentro do perímetro do município de Santana, os demais ficam à cargo das prefeituras de Santa Quitéria do Maranhão e Paulino Neves, as quais realizam suas atividades de infraestrutura, saúde, com atendimentos ao Sistema Único de Saúde – SUS e na educação mantendo as escolas municipais.

Tabela 6: Relação dos povoados do município de Santana do Maranhão

<i>Ord.</i>	<i>Cidade/Povoados</i>	<i>Município de correspondência</i>
1	Santana do Maranhão (sede municipal)	Santana do Maranhão
2	Bairro São José	
3	Povoado Tomás Correia	
4	Povoado Bacuri	

5	Povoado Baixa Funda	
6	Povoado Barra da Estiva	
7	Povoado São Gonçalo	
8	Povoado Santana Velha	
9	Povoado Riachão	
10	Povoado Coqueiro do Magu	
11	Povoado Canto da Ilha	
12	Povoado Morros	
13	Povoado Canto Sujo	
14	Povoado São João	
15	Povoado Pati	
16	Povoado Cabeceira do Magu	
17	Povoado Santo Antônio	
18	Povoado Jaboti	
19	Povoado São Domingos	
20	Povoado São Bento	Santa Quitéria do Maranhão
21	Povoado Vertente	
22	Povoado Santa Luzia	
23	Povoado Buriti Seco	
24	Povoado Baixão	
25	Povoado Santa Clara	
26	Povoado Capão	
27	Povoado Cocal	
28	Povoado Vila Nova	
29	Povoado Onça	
30	Povoado Centro Eusébio dos Reis	Paulino Neves

Fonte: Própria pesquisa (2024).

Com a redução populacional no censo de 2022/2023, o prefeito de Paulino Neves recorreu junto ao IMESC, reivindicando que os povoados Centro Euzébio dos Reis (atualmente pertencente ao município de Santana do Maranhão) e Riacho do Meio do Cesarino (Tutóia), fosse reintegrado ao município novamente. Até o presente momento, não se obteve mais informação se a solicitação foi de fato deferida ou não. Os povoados que, teoricamente são de Santana, mas que pertencem ao município de Santa Quitéria do Maranhão, são aqueles que apresentam maior expansão agrícola, desde a década de 1980, conforme fora abordado no capítulo anterior, com plantio de eucalipto, produção de carvão vegetal e posteriormente com os avanços das culturas temporárias.

Culturas Temporárias

As culturas temporárias, de acordo com IBGE (2013), são definidas como o cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Para essas culturas, destacam-se os grãos e cereais, as de bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças e ainda as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte, que muitas vezes são cultivadas em estruturas como estufas, ripados e telados, podendo ser incluída ainda, dentre as culturas temporárias, a cana-de-açúcar e mandioca, bem como as culturas de algumas forrageiras destinadas ao corte.

As culturas temporárias identificadas na área de estudo, são culturas agrícolas de sequeiro, desenvolvidas durante o período chuvoso, de dezembro a maio, predominando as culturas de soja e milho. Essa expansão dá-se no sentido Sul/Norte, com o avanço fronteiriço do município de Santa Quitéria do Maranhão, adentrando os limites do município de Santana do Maranhão, principalmente os campos de soja (figura 42). Essas culturas compreendem, aproximadamente, 119,20 km², com uma superfície de área de 12,79% de todo território.

Figura 42: Plantio de soja na fronteira do município de Santa Quitéria do Maranhão e Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2023)

Dos pontos identificados, a soja expressa um crescimento ao longo dos últimos anos. Foram identificados 4 campos ao longo da área de estudo, onde 3 desses campos estão

situados na parte Sul do município e o outro na região Oeste, na divisa do município de Santana do Maranhão com Barreirinhas. Outros pontos encontravam-se em fase de implantação, com vastas áreas desmatadas, limpeza de terrenos e manejo do solo (figura 43). Durante os trabalhos de campo e em conversas informais com os moradores, descobriu-se que houve a aquisição de novos terrenos, extensas áreas compradas e cercadas que futuramente serão o cerne da soja no município.

A figura anterior mostra um campo de soja que havia sido recentemente colhida, identificado no ato do trabalho de campo, em junho de 2023. Encontrou-se no local apenas grãos que estavam sob o solo, após a prática de aradagem (figura 44) para o plantio de milho que é cultivado durante o período de pousio da terra e, posteriormente, servirá de adubo para este solo.

Figura 43: Área desmatada para implantação de futuro projetos sojícolas, nas mediações do povoado São Bento, município de Santana do Maranhão



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Figura 44: Solo aradado para o plantio de milho após a colheita da soja, no limite dos municípios de Santa Quitéria e Santana do Maranhão.



Fonte: Própria Pesquisa (2023)

Destaca-se que no entorno da propriedade, observou-se vegetação remanescente, secundária mista. São áreas que estão em processo de recomposição, pois aquelas que ainda não foram alteradas com a expansão agrícola do início da década de 1980 (com as primeiras atividades de plantio de eucaliptos), tenham sido modificadas pelos agricultores familiares com a chamadas roças de tocos que ainda são, em grandes partes, maioria ao longo do curso dos rios, por apresentar maior umidade do solo e torná-lo propício para a agricultura de baixa escala.

Vale ressaltar que as medidas adotadas como incentivo para a expansão agrícola em larga escala no estado, principalmente na mesorregião Leste Maranhense, onde se encontra o município de Santana do Maranhão, tem ocasionado, além dos conflitos fundiários, a devastação da biodiversidade, naquilo que se refere ao extrativismo do bacuri e pequi para as comunidades locais.

Além da soja, outra cultura que vem sendo implementada nos últimos anos é a produção de milho. Durante o trabalho de campo, identificou-se uma grande plantação de milho na divisa do município de Santana do Maranhão, com o município de Tutóia (ao Norte), conforme mostra a figura (45), consorciada com o Capim colônia (*Panicum maximum*). Este último, por sua vez, é uma excelente forrageira utilizada para a alimentação bovina, por apresentar alta resistência às condições climáticas, adaptabilidade ao clima tropical e aceitabilidade pelos animais de grande porte.

Figura 45: Plantação de milho nas mediações do povoado Riachão.



Fonte: Própria Pesquisa (2023)

No trabalho de campo, foi possível identificar que, na plantação de milho, a camada mais superficial do solo apresentava o uso de substância química para o cultivo deste. Apresentava uma coloração esbranquiçada, demonstrando que havia sido adubada ou aplicado corretivo de solo para melhor a qualidade deste.

Pastagem

O Manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013), define a pastagem como sendo a área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais, estando o solo está coberto por vegetação de gramíneas e/ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros, nessas áreas.

Os campos de pastagens são resultantes de áreas que foram desmatadas e hoje são destinados à bovinocultura. São campos que foram desmatados para o plantio de eucalipto na década de 1980 e posteriormente soja, mas que não apresentaram efeitos positivos, ou seja, não tiveram resultados esperado na produção, não obtiveram êxito, devido a necessidade de correção do pH desses solos. Na propriedade, identificou-se uma vegetação menor, se comparada às demais áreas visitadas, com exceção da área onde foram extraídas madeira para a produção de carvão vegetal.

No campo de pastagem (figura 46), o pasto é próprio da região, ou seja, pasto natural que se (re)estabelece no período chuvoso e se mantém próprio para consumo durante todos os meses do período de chuva. Após esse período, a maior parte do gado é destinado para outras áreas da fazenda, ou às grandes fazendas à beira do rio Parnaíba. Esse uso no município, corresponde a, aproximadamente, 23,64 km², com uma superfície de área de 2,54% de todo território.

Figura 46: Fazenda Nutri Brasil – campo de pastagem destinados para a bovinocultura.



Fonte: Própria Pesquisa (2023)

Nesse local (assim como nos demais pontos), realizou o teste de infiltração e as coletas de amostras de solos e observou-se que o solo estava compactado, ou seja, houve maior resistência ao trado para coleta do solo deformado e indeformado. Detectou-se ainda vegetação de gramínea, como citadas anteriormente que é destinada para a alimentação bovina e grande número de gado espalhados ao longo da fazenda. Quanto à característica geomorfológica, observou-se o relevo plano, o que caracteriza um relevo propício para a mecanização agrícola.

O local onde se encontram essas fazendas com extensos campos de pastagens, são eventualmente o local do plantio de eucalipto iniciado em meados da década de 1980, narrado pelos antigos trabalhadores que prestaram serviço na propriedade, fora narrado no capítulo anterior.

Vegetação secundária mista

Num estudo voltado para a Ilha do Maranhão, Fonseca (2001) afirma que as florestas foram quase totalmente substituídas, restando tipos de vegetação secundária mista, caracterizadas pela ocorrência de plantas herbáceas e palmáceas, nas zonas emersas e manguezais na faixa litorânea. Esse fato não é diferente da área de estudo, uma vez que essa substituição da floresta pelos avanços agropecuários, têm modificado a paisagem local.

A vegetação secundária mista (figuras 47 e 48) é o resultado da exploração da floresta primária, ou seja, ao passo que há a expansão urbana e no caso do município de Santana do Maranhão, a expansão agrícola, a retirada da cobertura vegetal resulta numa vegetação secundária mista, desenvolvendo-se próxima às margens dos rios e riachos. Nessa percepção, Bezerra (2011), destaca que “floresta secundária mista”, oriunda da devastação da floresta, localiza-se nas áreas mais elevadas e vêm sofrendo acelerado processo de devastação, predominando o sistema de capoeira, que surge em decorrência da derrubada originada principalmente, do acelerado processo de ocupação do espaço urbano.

Figura 47: Vegetação secundária mista, localizada nas proximidades da nascente do Baixão da Vereda, povoado Vereda 3.



Fonte: Própria pesquisa (2023)

Figura 48: Vegetação secundária mista nas proximidades do campo de milho, nas mediações do povoado Riachão.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

A vegetação secundária mista do município de Santana do Maranhão vem sofrendo supressão com usos intensos da terra. Esses usos agrícolas e/ou as intensas queimadas que ocorrem anualmente, acabam retardando o crescimento das árvores quando estas não são totalmente destruídas no percurso do fogo, ocasionando áreas campestre e áreas parcialmente descobertas ao longo da área de estudo, conforme será abordado na próxima seção.

Essa cobertura vegetal estudada, corresponde a aproximadamente 279,92 km² e uma superfície de área de 30,03%, a segunda maior área do município, ficando atrás apenas da Área Campestre. Essa classe é composta por Mata Ciliar e Mata de Galeria, acompanhando os cursos dos rios e riachos dentro do perímetro do município.

Área Campestre

De acordo com o Manual técnico de uso da Terra (IBGE, 2013), às áreas campestres são as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso, conforme apresentado nas figuras 49 e 50.

Figura 49: Vegetação de gramíneas, com arbustivos (Janagubeiras e muriciseiros) espaçados.



Fonte: Própria pesquisa (2024)

Figura 50: Área campestre com arbustivos, vegetação rasteira e ao fundo, campos de pastagem.



Fonte: Própria pesquisa (2023)

No município essa cobertura representa a maior área com, aproximadamente, 467,39 km² e uma superfície de área de 50,14%, equivalente a mais da metade de todo território do município de Santana do Maranhão. São áreas que vem enfrentando os maiores impactos ambientais, decorrentes das queimadas anuais que ocorrem de junho/julho a dezembro.

Em muitos casos, as áreas campestres são destinadas para a criação de animais de grande porte, na área de estudo à bovinocultura. Essas áreas campestres, quando destinadas ao pastoreio do gado, são consideradas pastagens naturais, ainda que tenham recebido algum

manejo, podendo ainda estar associadas a algum tipo de extrativismo vegetal (IBGE, 2013). No que se refere ao extrativismo, ainda existem grandes áreas que predominam os bacurizeiros e pequizeiros que fomentam o extrativismo local. Entretanto, com a expansão do agronegócio, essas árvores nativas estão sendo derrubadas em grande proporção.

Essas áreas, em muitos casos, são resultados dos focos de incêndios que provocam a redução da vegetação em processo de formação, permanecendo as áreas arbustivas e a vegetação rasteira em recomposição. Quando as queimadas se intensificam, essas áreas campestres tornam-se áreas parcialmente descobertas, como veremos na próxima seção.

Áreas parcialmente descobertas

As áreas parcialmente descobertas aqui proposta, trata-se das áreas que vem passando por um processo de pressão por conta das queimadas intensas. Diferentemente da proposta pelo IBGE (2013), que associa as áreas descobertas àquelas encontradas nas áreas de praias, dunas com vegetação esparsa e extensões de areia ou seixos no litoral ou no continente, incluindo leitos de canais de fluxo com regime torrencial. As áreas que se propõem neste estudo, referem-se aos ambientes antrópicos, decorrentes da degradação provocada pelas atividades humanas [...] (op. cit., 2013), como as já mencionadas queimadas, seja para limpeza de terreno ou aquelas provocadas intencionalmente (figura 51).

Figura 51: Áreas queimadas propositalmente deixando os solos desnudados, transformando o solo em áreas parcialmente descobertas.



Fonte: Própria pesquisa (2024)

As áreas parcialmente descobertas, correspondem a 20,77 km², compreendendo apenas 2,23% de toda a superfície do território. Embora aparente poucos quilômetros de área, vêm crescendo anualmente, por ocasião da exploração através dos diversos tipos de usos apresentados e conseqüentemente das intensas queimadas.

São vários pontos encontrados com essas características no município. Entretanto, devido à grande dificuldade de acesso a essas áreas, traz-se apenas a ilustrada na figura anterior. Como se pode ver, as áreas parcialmente descobertas são os reflexos das ações humanas, com diferentes formas de uso da paisagem. Neste caso, as queimadas frequentes tornam essas áreas muitas vezes improdutivas, pois o solo fica desnudo e as chances de produzir neles é quase nula, exceto quando utilizadas técnicas de melhoramento desses solos.

Carvoaria

A prática de carvoaria no município de Santana do Maranhão data do início dos anos 2000, mais precisamente no ano de 2004, de acordo com o registro das imagens históricas do Google Earth, conforme apresentado no capítulo “Caracterização geoambiental e da área de estudo”. Essa prática ainda existe atualmente e corresponde a aproximadamente 9,94 km², compreendendo 1,07% de todo território santanense. Durante o primeiro trabalho de campo, em junho de 2023, identificou-se pilhas enormes de madeira (figura 52) que até aquele momento, não se sabia qual destino teria.

Figura 52: Pilha de troncos de madeira de árvores destinadas para a produção de carvão vegetal.



Fonte: Própria pesquisa (2023)

Entretanto, nos meses de outubro e novembro de 2023, iniciaram-se a construção de fornos que seriam destinados para a produção de carvão. E os avanços da extração de madeira se intensificaram de modo que a área onde a vegetação estava se restabelecendo, passaram a ser totalmente retiradas. Após a derrubada das árvores, atearam fogo para, posteriormente fazerem a extração da madeira que fora destinada para a produção do carvão vegetal.

Durante o segundo campo, realizado em março de 2024, deparou-se com gigantescos fornos (figura 53) que foram implantados para a produção de carvão vegetal. Nos locais dessas pilhas de madeira (figura 52), que media em torno de, aproximadamente 2 (dois) metros de altura, encontrou-se os fornos como fora mencionado anteriormente. Ao todo contabilizou-se um total de 40 fornos que estavam em plena atividade quando chegou-se ao local.

Figura 53: Fornos para a produção de carvão vegetal no município de Santana do Maranhão.



Fonte: Própria pesquisa (2024)

Como dito anteriormente, essa prática é recorrente no município desde o início dos anos 2000, quando a necessidade das siderúrgicas de ferro gusa, surge o aumento da demanda para a produção de carvão vegetal. Nessas condições, as empresas passaram a explorar as áreas que facilitassem o processo de escoamento da produção dessa nova fonte de energia para as siderúrgicas. Como resultado dessa exploração, restaram-se, em algumas partes do município apenas os solos expostos, os quais serão abordados na próxima seção.

Solo exposto

Entende-se como solo exposto, o resultado final da extração da vegetação nativa dos solos, deixando-os totalmente sem cobertura vegetal, vulneráveis aos processos erosivos e modificando ainda a fisionomia da paisagem. Os solos expostos, resultam das diversas atividades humanas que, deixando-os totalmente descobertos, ficam sujeitos aos diversos impactos ambientais. Esses solos (figura 54), no município de Santana do Maranhão, possuem uma superfície de área de, aproximadamente 0,20% de todo o território com um total de 1,86 km², podendo ainda ser superior, se considerado as diversas áreas com pouca vegetação em seu entorno.

Figura 54: Solo expostos e o processo de voçorocamento próximo ao cemitério do povoado Vereda 3, município de Santana do Maranhão. O polígono em vermelho, representa a área de solo exposto.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Partes dessa área se estende há mais de 2 km, do encontro do povoado Vereda 3 em direção Leste ao Povoado Santo Antônio, acompanhando a estrada de chão, sem pavimento que liga os referidos povoados ao município de Santo Bernardo. Em todo o percurso, depara-se com esses solos expostos.

Planície de inundação

De acordo com Borges e Ferreira (2019), as Planícies de Inundação são áreas que margeiam os cursos d'água, podendo inundar em períodos de cheia, possuindo gradiente topográfico baixo, declividades brandas e solos aluviais. Para os autores, essas áreas são caracterizadas como unidades geomorfológicas formadas por deposições sedimentares desenvolvidas pela ação da água, ocorrendo em áreas de gradiente topográfico baixo, nos vales dos rios, onde os declives mais brandos favorecem a deposição e permanência dos materiais transportados pela água (Borges; Ferreira, 2019).

Na área de estudo, as planícies de inundação estão situadas em todo curso do rio Magu, dos rios e riachos que transcorrem no município, equivalente a, aproximadamente, 1,50 km², com uma superfície de área de cobertura de 0,16%. Ressalta-se que partes dessas planícies não foram 100% mapeadas pela falta de acesso aos locais e devido a extensão da área mapeada, além da resolução espacial da imagem obtida que não foi o suficiente para definir a extensão total dessa área.

Por fim, para melhor detalhamento das áreas mapeadas apresenta-se a tabela 7, com as informações detalhadas em quilômetros quadrados (km²) além da superfície dessas áreas em percentual das identificadas em cada uso e cobertura da terra.

Tabela 7: Área dos usos e cobertura da terra, no município de Santana do Maranhão.

<i>Id.</i>	<i>Uso / Cobertura</i>	<i>Área Mapeada (Km²)</i>	<i>Superfície das áreas (%)</i>
1	Áreas Urbanizadas	7,68	0,82%
2	Culturas Temporárias	119,20	12,79%
3	Pastagem	23,64	2,54%
4	Vegetação Secundária Mista	279,92	30,03%
5	Área Campestre	467,39	50,14%
6	Corpos d'Água	0,30	0,03%
7	Áreas Parcialmente Descobertas	20,77	2,23%
8	Carvoaria	9,94	1,07%
9	Solo exposto	1,86	0,20%
10	Planície de inundação	1,50	0,16%

Fonte: Própria Pesquisa (2024)

6.2. Pontos de análises dos usos e cobertura da terra

Para melhor entender a dinâmica de usos e cobertura da terra da área de estudo, foram analisados nove pontos de observação. Os pontos de análise dos usos e da cobertura da terra são essenciais para os estudos ambientais e geográficos, pois possibilitam entender como a dinâmica socioespacial transforma e reconfigura o território ao longo do tempo. Essa metodologia considera tanto fatores naturais quanto antrópicos, analisando padrões de ocupação, intensidade de uso, degradação, potencialidades e conflitos ambientais. Isso permite entender a relação entre sociedade e natureza de forma sistêmica. Essas análises apoiam o planejamento territorial, a gestão ambiental e as decisões relacionadas ao uso sustentável dos recursos naturais ao identificar alterações espaciais e funcionais na paisagem.

Ponto 1: P01 – Campo de Soja

O primeiro ponto visitado, está situado nas coordenadas -3,333850 S e -42,697540 W, nas imediações do Povoado Bacabal, divisa com o município de Santa Quitéria do Maranhão. No local, identificou-se o plantio de soja (figura 55) que, no período do trabalho de campo, havia sido recolhida recentemente, ficando apenas restos no solo. A área havia sido revolvida, ou seja, tinha sido aradada, preparada para o plantio de milheto (*Pennisetum glaucum* – L)”, uma prática comum na agricultura anual, cultivar na entressafra e serve tanto para o período de pousio como para adubagem do solo.

Figura 55: Campo de Soja na divisa com o município de Santa Quitéria do Maranhão.



Fonte: Própria Pesquisa, 2023

Durante as atividades, observou-se ainda, a vegetação em torno da área de cultivo, e percebeu-se a vegetação arbórea em volta, trata-se de vegetação secundária, devido aos usos dessas áreas serem destinadas às roças tradicionais destinada para o plantio de mandioca, milho e feijão, como meio de subsistência das famílias dos povoados próximos à de cultivo.

Nota-se ainda que, os usos da terra, ainda que, em menor proporção, é intensa pela agricultura familiar no município de Santana do Maranhão, razão pela qual, muitos produtores familiares reivindicam seus direitos à terra para produzirem seu próprio alimento.

Ponto 2: P02 – Extração de madeira destinada para a produção de carvão vegetal

No ponto 2 foi visualizada várias pilhas de madeira (figura 56), com uma altura média de cada amontoado de 2,15 m, em decorrência de desmatamento na área para o avanço dos usos da terra, plantio de soja ou para a produção de carvão vegetal, uma prática recorrente deste uso na área de estudo.

Figura 56: Pilha de troncos de árvores no município de Santana do Maranhão.



Fonte: Própria pesquisa, 2023

As espécies identificadas na extração de madeira foram árvores nativas, tais como: pau-pombo (*Tapirira guianensis*); janaguba (*Himatanthus obovatus*); amargoso (*Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke); faveira ou fava-de-bolota (*Parkia platycephala*); fava d'anta

(*Dimorphandra mollis*); candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish); barbatimão (*Stryphnodendron*).

Ponto 3: P03 – Pastagem

Os campos de pastagens são resultados da extração de madeira para a produção do carvão vegetal. Os campos limpos que restaram foram destinados para a bovinocultura. O campo visitado (figura 57), encontra-se nas seguintes coordenadas: -3,29199 (Latitude Sul) e -42,66003 (longitude Oeste).

No local, encontrou-se uma vegetação arbórea inferior a 1,5 metros de altura, sendo possível observar a dificuldade de recomposição das árvores frente à alta compactação do solo ocasionada pelo pisoteio do gado. Foi possível identificar a compactação, devido à dificuldade de fixação dos trados para coletas de amostras de solo e do infiltrômetro para o teste de infiltração. Identificou-se ainda vegetação de gramínea nativa que serve de alimento para o gado em relevo plano.

Figura 57: Campo de pastagem destinado para a bovinocultura.



Fonte: Própria Pesquisa (2023)

Esses campos foram reutilizados para a bovinocultura, a partir das tentativas frustradas de plantio do eucalipto e da soja, em meados de 1980 (eucalipto) e início dos anos 2000 (soja). Restaram-se apenas construções abandonadas, incluindo uma balança (figura 58) que seria utilizada para a pesagem das carretas. Diante das análises laboratoriais obtidas durante

este estudo, pressupõe-se que essas tentativas de plantios das culturas supracitadas foram frustradas pelo fato do solo possuir um pH elevado, além de baixo teor de Matéria Orgânica e de macro e micronutrientes dificultando assim os desenvolvimentos das plantações.

Convém destacar que partes dos bovinos que se alimentam na propriedade, são dos moradores que pagam uma taxa para o dono da fazenda, como uma forma de arrendamento para que estes gados permaneçam até um determinado período do ano, sobretudo no período de estiagem.

O pasto identificado foram as gramíneas nativas que brotam durante o período chuvoso, sendo conservada pelo produtor rural, até o período de estiagem. Durante o período chuvoso, o gado permanece em áreas abertas de tabuleiro para comer os brotos oriundos das queimadas que ocorrem anualmente.

Figura 58: Identificação de construções inacabadas em campo de pastagem em Santana do Maranhão.



Fonte: própria pesquisa (2023).

Todas essas informações foram coletadas com os moradores, em conversas informais, próximos aos campos e através do trabalho de campo. De igual forma, observou-se que as práticas agrícolas, como o plantio de soja e milho e a prática da produção do carvão vegetal, deixaram um sistema de capoeira extenso e que seria utilizado para pecuária extensiva com presença de vegetação rasteira da própria região.

Ponto 4: P04 - Campo de Milho

O campo de milho (figura 59), encontra-se nas coordenadas – 3,12301 (latitude Sul) e – 42,50476 (longitude Oeste). O plantio dessa cultura nessa área é recente, iniciado no ano de 2022. No local, observou que, além do milho, havia sido consociado o capim-colonião (*Panicum maximum*), por ser de fácil aceitabilidade pelo gado e de fácil propagação em ambiente tropicais. Observou ainda que a expansão da propriedade estava em desenvolvimento, pois haviam áreas abertas no sentido Norte, no limite com os povoados pertencentes ao município de Tutóia.

Figura 59: Campo de milho nas mediações do povoado Riachão.



Fonte: Própria Pesquisa (2023)

A plantação de milho encontra-se consorciada com o capim-colonião por apresentar alta aceitabilidade pelos animais de grande porte, principalmente a bovinocultura, observada no local da plantação, pois a propriedade estava dividida em glebas, sendo uma delas, para a criação de gado.

Ponto 5: P05 - Milheto

O Quinto ponto (figura 60), encontra-se sob as coordenadas -3,1788138 de latitude Sul e -42,8000203 de longitude Oeste e situa-se no limite do município de Santana do Maranhão, com o município de Barreirinhas (a Oeste). No momento do trabalho de campo

encontrou-se milhetos, gramíneas nativas e melancieira que, comumente, são plantados na entressafra da soja, durante o período de pousio servindo para produção de forragem, para pastejo, em plantio de safrinha, implantação e recuperação de pastagens e uso do milho como silagem, sendo este cultivado após a colheita da cultura principal (Kichel; Miranda, 2000).

Figura 60: Plantio de milho na divisa com o município de Barreirinha (MA).



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Kichel (2000) destaca que o cultivo do milho é uma excelente alternativa para produção de silagem, principalmente em regiões com problemas de veranico ou seca, sendo comumente cultivado em regiões nas quais não ocorrem geadas e que têm precipitações até o mês de maio. De acordo com o autor, é uma importante cultura, pois além das características já mencionadas, pode proporcionar boa cobertura do solo.

Para além do milho, diagnosticou-se gramíneas, uma espécie de vegetação nativa crescendo nos espaços descobertos pela cultivar e melancieiras que brotaram consociadas com o milho, razão pela qual, observou-se inúmeros moradores procurando melancias dentro dos campos de milho. As gramíneas identificadas, além de proporcionar boa cobertura do solo, é utilizada para a alimentação animal de grande porte.

Ponto 6: P06 – Pastagem

O Ponto 6 (P06 – pastagem), é um campo explorado recentemente em um tabuleiro de superfície aplainada. O segundo campo de pastagem (figura 61) visitado no trabalho de campo,

encontra-se na coordenadas -3,19803079 latitude Sul e -42,70732082 longitude Oeste. A área havia sido desmatada com retirada da madeira para a produção de carvão vegetal, localizada há poucos metros das carvoarias. A propriedade serviria para o pastejo do gado e/ou para projetos futuros de plantação de soja. No momento do trabalho de campo, observou-se apenas o desmate e uma pequena área mais o Sul que estava sendo preparada para o plantio de soja. Os maquinários estavam retirando a cobertura vegetal, no sentido Leste, nas proximidades da carvoaria. Não foi possível realizar o registro fotográfico com o drone para maiores demonstrações desta atividade no local.

Figura 61: Campo de pastagem recém desmatado e com indícios de queimadas para limpeza do terreno.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

A propriedade estava desmatada e indícios de queimadas da vegetação no solo, posterior ao desmate no local. A área, encontra-se próxima a uma estrada vicinal, sem pavimentação, principal via de acesso dos moradores, quando precisam deslocar-se para as cidades de Tutóia (ao Norte), São Bernardo (MA) (a Leste), os principais centros comerciais onde as pessoas dessas comunidades fazem suas compras e/ou Santa Quitéria (ao Sul).

Ponto 7: P07 - Vegetação densa (mata)

Essa área de vegetação densa (Figura 62), encontra-se nas coordenadas -3,2032883 de latitude Sul e -42,6601323 de longitude Oeste, próximo à nascente do Baixão da Vereda, um dos principais afluentes do rio Magu, nas proximidades do povoado Vereda 3. Foi possível realizar coletas nessa área e observar que a área de mata é preservada, com pouca intervenção humana. É uma propriedade de usos da comunidade citada anteriormente, mas que ainda se encontra preservada, por abrigar umas das nascentes de um dos afluentes do rio Magu. O riacho, conhecido como Baixão da Vereda, percorre pelos povoados: Vereda 3, Vereda 2, Vereda 1, Veado, Coqueiro do Magu até desaguar no curso principal do rio Magu, nas imediações do povoado Riachão.

Figura 62: Área de vegetação densa, próxima a nascente do Baixão da Vereda.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Essa área apresenta características de vegetação secundária mista, pois são locais que apresentam umidade ideal para a construção de roças de toco pelos agricultores familiares da comunidade local (Vereda 3). Como meio de preservação e impedimento dos avanços agrícolas convencionais, os moradores proprietários dessa faixa de terra, resolveram cercar, fazendo a demarcação do terreno, pois a poucos metros dessa área, identificou-se o desmate já mencionado no ponto 6 (P06 – Pastagem).

Ponto 8: P08 – Área de carvoaria

A área de carvoaria encontra-se sob as coordenadas -3,2609058 de latitude Sul e -42,6508616 de longitude Oeste. É uma área que foi detectada desde o início dos anos 2000, como fora citado na seção de uso e cobertura, por ocasião do mapeamento por classificação supervisionada.

Nessa área há um intenso uso da terra. Identificou-se 40 fornos, conforme expressa a figura 63, que são utilizados para a produção de carvão vegetal. Muitos fornos estavam ativos, em pleno funcionamento, no ato trabalho de campo. Uma grande área já foi desmatada para a retirada da madeira e, após a retirada, os trabalhadores atearam fogo para fazer a limpeza da área.

Figura 63: Fornos ativos na produção de carvão vegetal, nas proximidades da sede da fazenda Nutri Brasil.



Fonte: Própria pesquisa (2024)

O solo encontra-se compactado, devido ao uso intenso de maquinários (figura 64) pesados, encontrados no local da coleta. Tais maquinários são utilizados para o transporte de madeira, empilhamento e para encher as carretas que transportam o carvão. Com os solos expostos, observou-se que há um processo de escoamento superficial quando ocorrem as

chuvas. A taxa de infiltração de água no solo, comparado aos demais pontos, é baixíssima, devido à alta compactação desses solos.

Figura 64: Maquinários utilizados na extração e transporte de madeira para a produção de carvão vegetal.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Identificou-se ainda, locais de trabalho em condições subnormais, pois havia apenas uma cabana com uma lona e, devido ao vento e a chuva, parte da cobertura havia caído. Mais adiante, havia casas de alvenaria inacabadas, desde as primeiras tentativas de exploração da área, quando tentaram plantar soja e, posteriormente, eucalipto. De acordo com os moradores, locais, após essa tentativa fracassada de plantio, começaram a produção de carvão vegetal.

Diante das pesquisas, através do Google Earth, obteve-se as imagens que mostram as intensas atividades, em meados dos anos de 2005 a 2015 e 2023/2024. Assim, a vegetação atual da área era secundária e encontrava-se em recomposição. Porém, com o retorno das atividades carvoeiras, passaram a existir apenas capoeiras com vegetação rasteira.

Ponto 9: P09 – Solo Expostos

O ponto 9 (figura 65) encontra-se próximo ao Povoado Vereda 3, nas coordenadas - 3,1928911 de latitude Sul e -42,6408608 longitude Oeste. Observou-se ainda uma voçoroca que há décadas vem crescendo, pois, a área além de apresentar uma declividade que favorece o

escoamento superficial, teve como princípio desta, a retirada da cobertura vegetal em toda a extensão do cemitério da comunidade que acabou intensificando o processo erosivo no local.

Figura 65: Solo exposto e processo erosivo nas proximidades do povoado Vereda 3.



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Embora houvesse gramíneas, não foram o suficiente para controlar a grande quantidade de água que escoam no período chuvoso. Partes dos materiais erodidos, são transportados diretamente para o rio. Em conversas com moradores locais, o processo erosivo iniciou-se após os moradores retirarem a cobertura vegetal, anualmente, para limpeza do entorno do cemitério e da estrada que passa ao lado deste, que liga o povoado ao município de São Bernardo.

A taxa de infiltração, nas bodas da erosão, é baixíssima. Observou-se que o solo estava compactado e a presença de gramínea, talvez contribuíram para que a infiltração fosse mais lenta. Isso explica porque o processo erosivo se concentrou nessa área, pois a baixa infiltração de água faz com que ela escoie superficialmente, levando os materiais que estão na superfície da terra no sentido a jusante.

Até aqui, trouxe as informações observadas e coletadas em campo “*in loco*”. Na seção a seguir, apresentar-se-á os resultados do teste de infiltração, da Densidade de Partículas (D_p/cm^3), Densidade do solo (D_s/cm^3), Porosidade Total (Pt %), como ainda os resultados das análises granulométricas, físicas e químicas dos solos coletados em campo.

6.3. Teste de infiltração

O teste de infiltração é um método fundamental para entender o comportamento hidrológico dos solos, pois permite analisar sua habilidade de absorver e transportar água a partir da superfície. Segundo o IBGE (2015), "infiltração é o processo de movimentação da água, da superfície do solo para o seu interior." A relação entre a lâmina d'água que se infiltra e o tempo gasto é chamada de velocidade de infiltração (VI). Esse parâmetro é essencial para analisar a permeabilidade do solo, direcionar práticas de conservação e determinar a propensão à erosão. Dessa forma, o teste oferece suporte técnico para a gestão sustentável da água, o planejamento agrícola e a redução dos efeitos ambientais resultantes das alterações no uso e na cobertura do solo.

Nessas condições, destaca-se que o teste de infiltração é importante, pois são fundamentais em levantamentos pedológicos, pois oferecem informações cruciais para o manejo e irrigação do solo. Esses resultados guiam a seleção de técnicas de conservação e a determinação de métodos de irrigação, abrangendo o espaçamento e a extensão dos sulcos, a quantidade de água fornecida e os períodos de irrigação (IBGE, 2015).

Paixão *et al.* (2004), acentua que o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, auxiliando na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo. Por essa razão, visou-se realizar o teste de infiltração nos pontos destacados, para conhecer a fragilidade e ou potencialidade desses solos na retenção de água.

Bezerra (2011), destaca que a infiltração é a passagem da água através dos solos, sendo que as condições de suas camadas exercem uma importante influência nas taxas e na capacidade de infiltração, pois em alguns casos, as suas condições limitam as taxas de água que pode ser absorvida. A ausência ou incipiente cobertura vegetal no solo pode acelerar a formação de crostas através do processo de compactação em função do *splash*, reduzindo, consequentemente, a infiltração.

Com o propósito de mensurar a taxa de infiltração de água nos solos da área de estudo, realizou-se o teste em oito pontos mencionados na seção anterior, com exceção do Ponto 2 (P02 – Troncos de madeira), pois objetivou-se apenas o registro fotográficos das pilhas de madeiras identificadas nas margens da estrada.

Ao preencher o infiltrômetro, inicia-se a contagem, com o auxílio de um cronômetro, para identificar a velocidade da infiltração. Quando o volume d'água chegar aos 5

cm, marca-se um asterisco na tabela de acompanhamento da taxa de infiltração, no minuto em que ocorreu e faz-se a recarga do infiltrômetro até atingir os 10 cm, como inicialmente.

Os dados obtidos apontam uma taxa de infiltração maior nos pontos P01 (Soja), P05 (pastagem) e P07 (Vegetação densa). Os pontos P01(soja) e P05(pastagem), necessitaram de 12 recargas durante o teste, enquanto o ponto P06 (vegetação densa), apenas 10 recargas. O ponto P08 (carvoaria) foi o único dos testes que não necessitou de recarga durante os 30 minutos analisados. O ponto P09 (Solo Exposto), necessitou apenas de duas recargas ao longo do teste.

Nota-se que, embora os testes tenham sido realizados em períodos distintos (P01 - seco – junho de 2023 e P04 – chuvoso – março de 2024), não houve alteração quanto a taxa de infiltração, pois esperava-se que o período chuvoso a água infiltrada no solo fosse menor que aquela do período seco. Convém destacar que no ato do teste de infiltração, o ponto P01 (soja), o solo havia sido revolvido há poucos dias. Enquanto que o ponto P04, o solo estava coberto por gramíneas e pela plantação de milho.

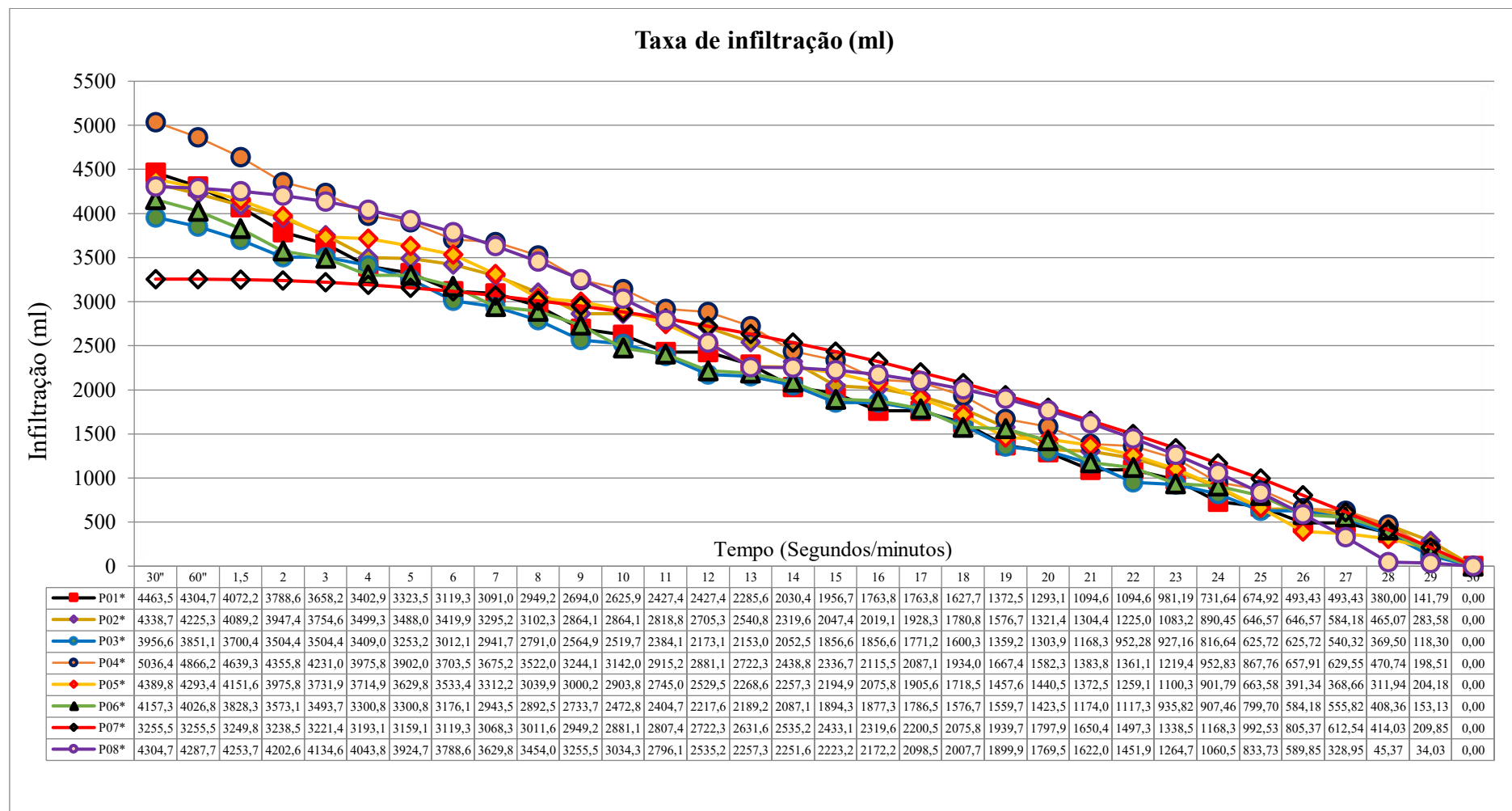
Silva e Pascualleto (2007) destacam que as taxas de infiltração variam conforme a distribuição anual de chuvas e as características texturais dos solos, sendo maiores em solos arenosos e menores em solos argilosos. Segundo os autores, no início dos eventos chuvosos a infiltração é mais elevada, pois os poros do solo ainda não estão totalmente preenchidos e as forças capilares são mais atuantes. À medida que a chuva se prolonga, o solo tende a saturar ou compactar-se, reduzindo sua capacidade de infiltração e aumentando a formação de enxurradas (*runoff*).

Ambos os pontos estão sob influência dos solos arenosos e facilitam a infiltração de água no solo. Os pontos P07 (carvoaria) e P08 (solo exposto) obteve-se pouca infiltração pelo fato de os solos estarem compactados devido aos trabalhos intensos de maquinários para o transporte de madeira (P07) e pela falta da cobertura vegetal, explicando naquele local, a existência de uma voçoroca⁴.

O gráfico 1 apresenta os resultados dos 08 pontos em que se realizou o teste de infiltração. Considera-se que a taxa de infiltração foi elevada, tendo em média 4.237,85 ml por ponto onde realizou-se o teste. Compreende-se que essa taxa de infiltração está relacionada com a textura arenosa do solo, que tem um efeito de absorção da água da superfície. Isso explica as razões da existência de várias nascentes no município em função do acúmulo de água na superfície freática.

⁴ O termo empregado aqui trata-se do método quantitativo empregado pelo professor Dr. Antonio José Teixeira Guerra (UERJ) e o professor Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra (UEMA), que consideram a largura superior ou igual a 0,50m e de profundidade podendo chegar até 30m de comprimento (Guerra, 2012, p.185).

Gráfico 1: Teste de infiltração realizados nos 8 pontos durante o trabalho de campo



*P01 – Soja; P02 – Pastagem; P03 – Milho; P04 – Milheto; P05 – Pastagem B; P06 - Vegetação Densa; P07 – Carvoaria; P08 – Solo Exposto.

Fonte: Própria pesquisa, 2024

Observou-se que a taxa de infiltração foi maior nos primeiros minutos o que, segundo a literatura, é um processo normal no período de estiagem, pelo fato do solo não estar saturado, pois os poros deste ainda não estão totalmente preenchidos e as forças capilares são mais atuantes. Após determinado período, o solo tende a saturar ou compactar-se, reduzindo sua capacidade de infiltração e aumentando a formação de enxurradas (runoff) (Silva e Pascualleto, 2007).

Nota-se que, apesar do solo ter sido revolvido com maquinário pesado, no processo de aração, o que acaba ocasionado a compactação deste, a taxa de infiltração é aceitável para o local. Isso ocorre quando os solos são arenosos e porosos pois, “o volume de poros, depende da composição granulométrica e da estruturação” (Kiehl, 1979) desses solos. Segundo o autor, os solos que possuem partículas de tamanhos uniformes, são mais porosos do que os de partículas de diferentes tamanhos. Para o autor, a média considerável para a porosidade dos solos arenosos, varia entre 35% e 50%. Sobre esse os resultados das análises granulométricas, será apresentado na seção a seguir.

6.4. Análises Físicas e Químicas dos solos

Granulometria dos solos

Bezerra (2011) destaca que as análises granulométricas constituem uma importante análise nos estudos sobre os processos erosivos. A textura do solo caracteriza-se pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo. Nessas condições, pelas características geológicas e geomorfológicas da área de estudo, são solos que apresentam características propícias aos processos erosivos, com exceção da declividade, que não é acentuada suficientemente para que isso ocorra.

Sob uma topografia de superfície plana a suave-ondulada, o município de Santana do Maranhão apresenta poucos processos erosivos, pois a declividade não é suficiente para que esse fenômeno ocorra de modo generalizado. Outro fator que contribui são os usos da terra, que após a retirada da cobertura vegetal, acaba influenciando (ou não), no desenvolvimento dos processos erosivos

As análises granulométricas visam à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo, entendendo-se por partículas individuais os grãos de minerais individualizados, fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada (podendo

conter mais de um mineral), concreções, nódulos e materiais similares cimentados (Teixeira *et al.* 2017).

Deste modo, os termos granulometria ou composição granulométrica são empregados quando se faz referência ao conjunto de todas as frações ou partículas do solo, incluindo desde as mais finas de natureza coloidal (argilas), até as mais grosseiras (calhaus e cascalhos) (IBGE, 2015). Assim sendo, empregou-se essa técnica para conhecer a granulometria que consiste na determinação da distribuição do tamanho das partículas em classes denominadas de areia, silte e argila, pois trata-se de uma característica de extrema importância para as propriedades físicas de um solo (Lisboa, 2018).

Analisando a textura dos solos, os resultados das análises granulométricas apresentaram uma textura arenosa (areia) para todos os pontos, conforme apresenta a tabela (8) que traz o resultado das análises laboratoriais, com as médias dos pontos coletados nos teores de areia, silte e argila em porcentagem. O percentual mostra que a média geral do teor de areia dos solos analisados, corresponde a 89,20%, argila 1,05% e silte 9,75%.

Tabela 8: Teor de areia, silte e argila.

Pontos	AREIA	SILTE	ARGILA	Textura
P01 - Soja	90,13	7,20	2,67	Arenosa
P02 - Pastagem	91,45	6,05	2,50	Arenosa
P03 - Milho	88,47	9,53	2,00	Arenosa
P04 – Soja/Milheto	92,36	7,42	0,22	Arenosa
P05 – Pastagem	88,97	10,78	0,26	Arenosa
P06 –Vegetação Densa	87,03	12,73	0,24	Arenosa
P07 – Carvoaria	87,23	12,57	0,20	Arenosa
P08 – Solo exposto	88,00	11,70	0,30	Arenosa
Média geral	89,20	9,75	1,05	-

Fonte: Própria pesquisa, 2024

Os pontos P01 (soja), P02 (pastagem) e P04 (soja/milheto), foram os que apresentaram maior percentual de areia, sendo sua textura superior a 90% arenosa. Foram os pontos que, nos testes de infiltração exigiram maior quantidade de recargas sendo 12 no total.

Assim, conhecer a mineralogia do solo é essencial para estudos de gênese, classificação, comportamento e manejo dos solos, pois a separação adequada das frações granulométricas é crucial para avaliar corretamente os constituintes mineralógicos das frações de argila, silte e areia (Teixeira *et al.*, 2017).

Desse modo, para identificar e avaliar a composição mineralógica das frações dos solos, utilizou-se o diagrama textural, os quais demonstram que os pontos analisados possuem textura arenosa. A textura do solo é crucial para avaliar sua qualidade e produtividade, pois permite estimar fatores como a dinâmica da água, resistência à tração, compactação, capacidade de troca de cátions e a necessidade de nutrientes, corretivos e herbicidas (Centeno *et al.*, 2017).

Na seção a seguir, apresentar-se-á os resultados das densidades aparente do solo e de partículas (g/cm^3), como também da porosidade total (%). Conhecer esses atributos é primordial para a manutenção do solo, da água e garantir o manejo adequado na agropecuária. Assim, a densidade expressa a relação entre a massa e o volume de solo e a porosidade, o volume do espaço aéreo do solo (Alvarenga, 2007).

Densidade do solo

O estudo da densidade do solo (Ds), assim como microagregação, compactação, macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT), capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados, têm sido importantes indicadores físicos que têm sido usados com mais frequência para aferir os impactos causados pelos sistemas de manejo (Martins, 2022).

Assim, a densidade do solo pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca em estufa, há uma temperatura de 105°C , e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (Lisboa, 2018). De acordo com Kiehl (1979), a densidade do solo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade.

Nessa percepção, considera-se importante conhecer e determinar a densidade do solo, pois esta implica diretamente com a morfologia deste e, por conseguinte, na gênese de cada tipo de solo e, indiretamente, reflete o comportamento dos solos no tocante à porosidade, permeabilidade, capacidade, taxa de infiltração, desenvolvimento de raízes, indicação de presença de material vulcânico no solo ($< 0,85\text{g/cm}^3$), grau de intemperização, sendo fundamental ainda por sua aplicação direta para cálculos quantitativos, os mais diversos (IBGE, 2015).

A densidade do solo é um importante parâmetro para a tomada de decisões, pois ela é responsável pela movimentação, armazenamento e/ou retenção de água, dependendo do grau de compactação desse solo, ou seja, quanto maior foi a densidade maior que $1,70\text{ g/cm}^3$, maior será a sua compactação. Desse modo considera-se a densidade, um importante fator para o

crescimento das plantas, assumindo importante função agrônômica para o manejo e a conservação do solo e da água (Alvarenga *et al.*, 2007).

Os dados de densidade dos solos demonstraram variação entre os diferentes usos da terra, indicando diferentes valores de compactação destes, influenciando assim, as taxas de infiltração e formação do escoamento superficial. O maior valor de densidade do solo foi encontrado na cultura do milho, 1,76 g/cm³, enquanto o menor foi encontrado no campo de pastagem com uma média de 1,51 g/cm³.

Isso indica que a alta densidade do solo para a cultura do milho é inapropriada para o desenvolvimento radicular e acaba dificultando o crescimento das plantas, pois de acordo com a literatura, densidades maiores que 1,70 g/cm³, indicam solos compactados. No campo de pastagem, apesar do pisoteio do gado, apresentou menor densidade (1,51 g/cm³), indicando que esse solo ainda não foi compactado e, desse modo, favorece baixa resistência à penetração radicular, funcionando como um importante índice de absorção de água no solo.

Bonetti *et al.* (2017) destaca que, ao analisar os atributos físicos do solo, como a textura, densidade do solo e a resistência à penetração, descobre-se como o solo está estruturado e sua susceptibilidade à compactação, seja pelo tráfego de máquinas ou pelo pisoteio animal. Para Kiehl (1979), as densidades aparentes (dos solos) variam e situam-se dentro dos limites médios como apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Variação da densidade do solo de acordo com o tipo de solo, segundo Kiehl (1979).

<i>Tipos de solos</i>	<i>Densidade do solo</i>
<i>Solos Argilosos</i>	1,00 a 1,25 g/cm ³
<i>Solos Arenosos</i>	1,25 a 1,40 g/cm ³
<i>Solos Humíferos</i>	0,75 a 1,00 g/cm ³
<i>Solos Turfosos</i>	0,20 a 0,40 g/cm ³

Fonte: Kiehl (1979). Adaptado pela pesquisa (2024).

Kiehl (1979) afirma que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação, menor será sua estruturação, menor sua porosidade total e, conseqüentemente, menores serão as restrições para o crescimento das plantas. Isso mostra que os valores obtidos nas análises, por serem solos predominantemente arenosos, os valores indicam que a densidade do solo está alta, ou seja, esses solos estão compactados, com base nessa percepção de Kiehl. Entretanto, para a literatura atual, essas densidades estão dentro da

média padrão que é considerada até $1,70 \text{ g/cm}^3$. Acima dessa média, considera-se que o solo esteja compactado.

Por isso, é importante conhecer a densidade dos solos pois, ao determiná-la,

[...] a partir dos horizontes de um perfil desde a superfície até a camada de rocha, permite avaliar certas propriedades do solo, como a drenagem, a porosidade, a condutividade hidráulica, a permeabilidade ao ar e à água, a capacidade máxima do solos para a água (capacidade de saturação), o volume de sedimentação, a erodibilidade eólica e, finalmente, é o conhecimento da densidade aparente que fornece informações para a recomendação da terra para determinadas culturas, como por exemplo, as produtoras de raízes e tubérculos, que preferem solos pouco denso (Kiehl, 1979, p. 85-86).

Desse modo ressalta-se que a densidade é um importante parâmetro para os estudos físicos dos solos, pois contribui para avaliá-lo de modo a garantir as recomendações necessárias, seja para o planejamento ambiental, seja para o incremento de culturas que necessitam de solos menos densos e que facilitem a penetração das raízes nesse solo. De igual modo, se concebe para os estudos da densidade de partículas que será abordada na seção a seguir.

Densidade de partículas

A densidade de partículas (D_p) é a relação entre a massa (peso do solo) e o seu volume, ou seja, representa o peso das partículas do solo e o volume ocupado exclusivamente pelas mesmas, independentemente de seu arranjo, exprimindo a densidade da terra fina, que se admite ser igual à da massa do solo (IBGE, 2015). De acordo com o Instituto (*op. cit.*),

Esta característica, denominada “densidade real”, como o nome diz, reflete a verdadeira densidade das partículas constituintes do solo. É um reflexo da natureza química e mineralógica de seus constituintes. Pode ser dispensada para solos minerais ricos em sílica ou em quartzo (areias), utilizando-se o valor universal de $2,65 \text{ g/cm}^3$. A determinação é feita pelo método do balão volumétrico com o uso de álcool etílico. Pode ser determinada em amostra deformada (IBGE, 2015).

Kiehl (1979) afirma que a densidade real refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade. De acordo com o autor (*op. cit.*), define-se a densidade real como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solos e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas, sendo está também designada de densidade das partículas, ou seja, por considerar ainda o peso do volume de sólidos, massa específica real e o peso específico real. Na percepção do autor, é importante, destacar que:

Nos solos, os valores variam, em média, entre os limites 2,3 e 2,9 g/cm³. Como valor médio, para efeito de cálculos, por exemplo, pode-se considerar a densidade real como sendo 2,65 g/cm³; isto porque os constituintes minerais predominantes nos solos são Quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades reais estão em torno de 2,65. É importante anotar, pelo exemplo citado, que o resultado obtido na determinação da densidade real de um solo, representa a média ponderada da densidade real de todos os seus componentes minerais e orgânicos (Kiehl, 1979, p. 89).

Diante dessa percepção, com base nos estudos apresentados pelos autores, os resultados da densidade de partículas apresentam variações significativas, sendo verificada a maior densidade no ponto P03 (milho) com 3,18 g/cm³. Kiehl (1979) destaca que essa variação depende dos minerais que são constituintes dos solos, ou seja, a densidade real de um solo, representa a média ponderada da densidade real de todos os seus componentes minerais e orgânicos. No referido ponto, verificou-se que haviam componentes químicos no solo, resultado de uma adubação recente ou da calagem desse solo para apresentar melhores resultados e condições de uso para a cultura plantada.

Outro ponto que chama atenção é o P02 (pastagem), com densidade de 2,84, mas que, justificado por Kiehl (1979), que a presença óxidos de ferro e de outros metais pesados pode elevar a densidade dos solos a valores ao redor de 3,0 g/cm³. Cita-se o exemplo deste ponto e do ponto P03 (milho), pela constante acima mencionada.

De acordo com Kiehl (1979), considera-se que a densidade dos pontos P01 (soja), P02 (pastagem), P04 (soja/milheto), P05 (pastagem), P06 (vegetação densa), P07 (carvoaria) e P08 (solo exposto), são classificadas como minerais leves, pois a densidade real destes pontos, são menores que 2,85 g/cm³, enquanto o P03 (milho) é classificado como minerais pesados, pois sua densidade foi superior a 2,85 g/cm³, ou seja, 3,18 g/cm³.

Kiehl (1979) destaca que em climas tropicais e subtropicais, como no Brasil, são frequentes os solos com densidade real próxima de 3,0 g/cm³. Esses dados apresentados, são importantes fatores e valores para a caracterização dos solos. Por isso, Kiehl (*op. cit.*) afirma que a relação da densidade real com as plantas, são consideradas indireta, pois os valores altos ou baixo, estão ligados à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, os quais podem influenciar mais diretamente no componente das plantas

Porosidade Total (Pt%)

Teixeira *et al.* (2017), afirma que a porosidade total do solo é a fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupada por água e/ou ar. Para ele, é importante conhecer a porosidade total para se entender o movimento e a retenção de água, ar

e solutos no solo, entre outros aspectos. Com isso, os poros no solo condicionam seu comportamento físico-hídrico além de influenciar nos processos dinâmicos do ar e da solução do solo, bem como a potencialidade agrícola dos mesmos (Ribeiro, 2006). Por isso, Hillel (1980), corrobora que o solo ideal deve proporcionar um volume e tamanho dos poros apropriados para a entrada, circulação e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas.

Para compreender o papel e a função da Porosidade, Kiehl (1979) destaca que o volume dos poros depende da composição granulométrica e da estruturação, ou seja, os solos com partículas de tamanhos uniformes tendem a serem mais porosos do que os de partículas de diferentes, pois as partículas finas podem preencher muitos espaços livres existentes entre o material grosseiros. Assim, os solos arenosos são os que apresentam maior porosidade, variando entre 35 a 50%, pois suas partículas são predominantemente grandes e a tendência é formar a disposição piramidal, que tem menor espaço de vazios (Kiehl, 1979).

Para o autor (*op. cit.*), a porosidade é importante pois além de regular a relações entre as fases sólidas, líquida e gasosa dos solos, é responsável pela distribuição da micro e macroporosidade nos estudos do armazenamento e movimento da água e do ar do solo, no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, nos problemas de fluxo e retenção do calor e na tenacidade oferecida às máquinas agrícolas no trabalho com a terra.

Diante disso, observa-se que os resultados das análises possuem as características apresentadas pelos autores. Assim como na densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total, o ponto P03 (milho) apresentou os maiores resultados. A porosidade total para esse ponto é de 44,16%, dentro da média estabelecida por Kiehl (1979). As menores porosidades encontram-se nos pontos P04 (milheto) com 33,41% e P07 (vegetação densa) com 34,18%, abaixo da média proposta pelo autor (*op. cit.*). Os demais pontos encontram-se nos parâmetros estabelecidos pela literatura, variando entre 35,00% (P08 – solo exposto) e 40,40% (P05 – pastagem).

Essas características mostram a capacidade de retenção e do fluxo de água no solo. Isso mostra porque os solos do Cerrado são conhecidos por apresentar grandes potencialidades hídricas através da infiltração de água na superfície freática que alimentam as principais bacias e reservatórios de água do país. No município de Santana do Maranhão esses reflexos na movimentação da água no solo mostram as potencialidades com a presença de inúmeras nascentes de rios como Magu (e de seus afluentes), Preguiças e afluentes, Buriti e afluente e do rio Barro Duro.

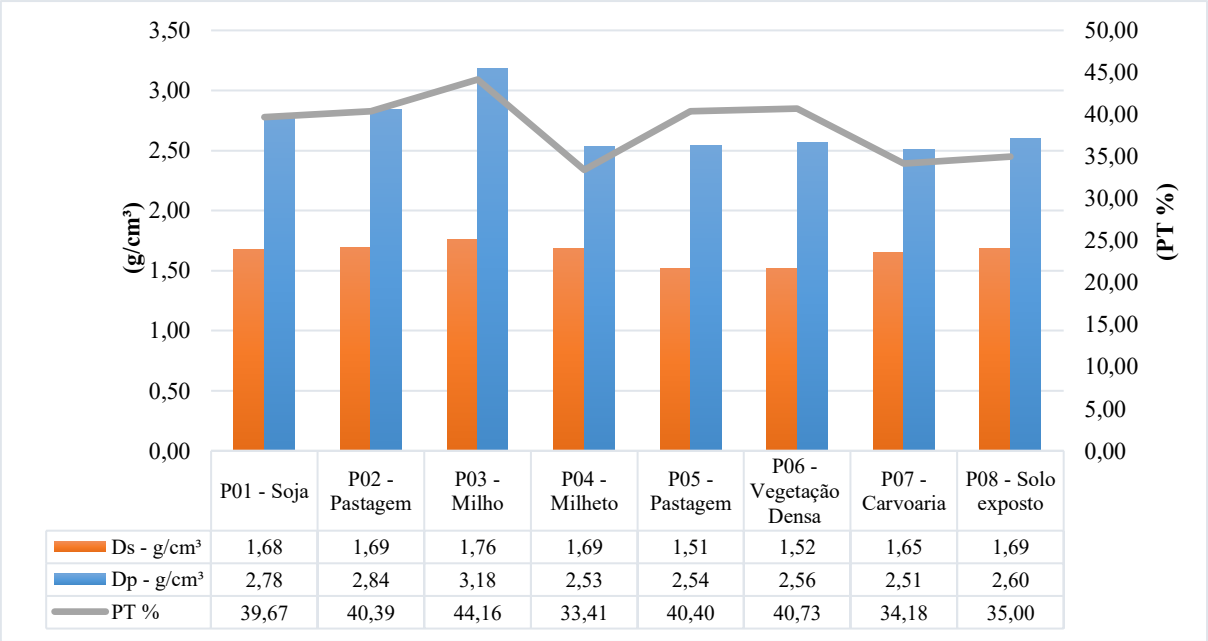
Para maior compreensão dos resultados transcritos anteriormente, apresenta-se a tabela 10 e o gráfico 2 detalhados das análises mencionadas nesta seção, com maior clareza das informações anteriormente descritas para cada seção estabelecida.

Tabela 10: Resultados das análises de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e Porosidade total (Pt%).

Uso/Cobertura	Profundidade	Ds	Dp	Pt
	m	g/cm ³		(%)
P01 – Soja	0 – 0,10	1,68	2,78	39,67
P02 – Pastagem	0 – 0,10	1,69	2,84	40,39
P03 – Milho	0 – 0,10	1,76	3,18	44,16
P04 – Milheto	0 – 0,10	1,69	2,53	33,41
P05 – Pastagem	0 – 0,10	1,51	2,54	40,40
P06 – Vegetação Densa	0 – 0,10	1,52	2,56	40,73
P07 – Carvoaria	0 – 0,10	1,65	2,51	34,18
P08 – Solo exposto	0 – 0,10	1,69	2,60	35,00

Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Gráfico 2: Média da Densidade do solo (Ds g/cm³), Densidade de partículas (Dp g/cm³) e Porosidade Total (Pt%).



Fonte: Própria Pesquisa (2024)

6.5. Análises Químicas de solos

Com os avanços das fronteiras agrícolas, sobretudo na região do MATOPIBA, incentivada pelas diversas esferas governamentais, cuja finalidade capitalista é o “fortalecimento da economia”, observa-se que os solos do Bioma Cerrado, no Brasil, possuem características físicas e “propícias” para a agricultura, sobretudo para as culturas anuais, pastagens, reflorestamentos, provocando alterações significativas na vegetação natural, modificando assim os atributos químicos do solo (Costa *et al.*, 2006; Pinheiro *et al.*, 2009; Carneiro *et al.*, 2009; Ferreira, 2023).

Além dessas mudanças que ocorrem na estrutura química do solo, outro fator que se destaca são as alterações nos atributos físicos ocasionados pelo manejo inadequado desses solos. Ferreira (2023) pontua que os atributos do solo podem ser facilmente alterados pelo uso e manejo, comprometendo a capacidade produtiva das áreas, decorrentes do uso inadequado de maquinários de uso agrícola pode incorrer na formação de camadas subsuperficiais compactadas. De igual modo, Carneiro *et al.* (2009), assinala que a formação das camadas compactadas influencia na estrutura do solo ao promover a redução do volume total de poros, o que, conseqüentemente, trará problemas para a produtividade dos solos.

Com o objetivo de conhecer as potencialidades e/ou fragilidades, realizou-se as análises químicas de solos nos pontos indicados na tabela (11) a seguir. As análises dos atributos químicos dos solos estudados, são parâmetros que ajudam a compreender os avanços dos usos da terra e trazem as informações que contribuem para o desenvolvimento deste estudo com base nos macros e micronutrientes que são necessários para as culturas anuais. Assim, abordou-se cada um deles e sua proporção nos resultados das análises.

Os atributos como a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e porcentagem de sódio trocável (PST), são de suma importância nos estudos dos solos, pois apresentam indicadores críticos da qualidade química dos solos, utilizados para que se possa diagnosticar a fertilidade e necessidades de correção, realizar o planejamento de adubação e calagem nas áreas analisadas. Permite ainda avaliar a viabilidade agrícola e o risco de degradação, dentre os quais, destaca-se a salinização e acidificação, como ainda ajuda a monitorar os impactos ambientais e práticas de manejo adequadas.

Tabela 11: Resultado das análises química do solo, *SB*, *CTC*, *V%* e *PST*, no município de Santana do Maranhão

Amostras	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	Al	H	C	SB	CTC (t)	V	CTC (pH 7)	PST
	g/dm³	CaCl₂	mg/dm³	mmolc/dm³							g/dm³	mmolc/dm³		(%)	mmolc/dm³	%
P01 - Soja	15	4,8	20	2,9	19	11	28	4,0	0	28	8,7	36,9	64,9	56,9	60,9	6,2
P02 - Pastagem	12	6,0	66	2,9	18	15	15	4,4	0	15	7,0	40,3	55,3	72,9	50,9	8,0
P03 - Milho	21	7,0	9	3,3	29	13	9	4,4	0	9	12,3	49,7	58,7	84,7	54,3	7,5
P04 - Milheto	10	6,7	10	2,9	21	14	11	4,0	0	11	6,0	41,9	52,9	79,2	48,9	7,6
P05 -Pastagem	11	4,1	4	2,5	5	3	32	3,7	4	28	6,4	14,2	46,2	30,7	42,5	8,0
P06 - Vegetação Densa	26	3,3	3	2,8	6	7	104	4,2	17	88	14,9	20,0	124,0	16,1	119,8	3,4
P07 - Carvoaria	27	3,6	4	2,8	14	1	84	4,1	12	72	15,9	21,9	105,9	20,7	101,8	3,9
P08 - Solo exposto	8	3,9	1	2,3	3	3	40	3,8	6	34	4,6	12,1	52,1	23,2	48,3	7,3

Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Para determinar a Soma de bases (*SB* em mmolc/kg), Capacidade de troca de cátions (*CTC* em mmolc/kg), Saturação de bases (*V %*) e a Capacidade de Troca de Cátions a pH 7, aplicou-se as seguintes fórmulas:

- o *Soma de bases – SB (mmolc/dm³) = Ca + Mg + Na + K*
- o *Capacidade de troca de cátions - CTC efetiva (mmolc/dm³) = SB + (H + Al)*
- o *Capacidade de troca de cátions a pH 7= CTC em pH (T) (mmolc/dm³) = K + Ca + Mg + (H + Al)*
- o *Saturação de bases => V (%) = SB x 100 / CTC*
- o *Porcentagem de Sódio Trocável (PST) = Sódio Trocável / CTC * 100 (%)*

A seguir, está a mensuração da análise química, de cada um dos elementos químicos, fazendo a correlação deste com os usos da terra e sua importância e função para as plantas, a partir das interpretações dos resultados propostas pela literatura.

Matéria Orgânica

O teor de matéria orgânica é de suma importância para a fertilidade do solo. Partes dessa matéria orgânica, encontra-se na camada superficial dos solos. Xavier (2021), destaca que dentre os compostos dos solos, a matéria orgânica, que raramente ultrapassa 5% do volume, correspondendo assim à menor porção, sendo responsável por regular uma série de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, sendo fundamental para mantê-lo vivo, pois representa uma fonte de energia para os microrganismos que nele habitam.

Segundo o autor, (*op. cit.*), quando o solo é revolvido por meio da prática agrícola de aragem e gradagem, sem empregar critérios técnicos adequados, a estrutura do solo é destruída e acaba rompendo os agregados e compactando as camadas superficiais, além de facilitar a perda da matéria orgânica que é rapidamente transformada e liberada na forma de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera, desequilibrando assim, a atividade dos microrganismos do solo, que reflete negativamente na ciclagem de nutrientes (Xavier, 2021).

Para a interpretação dos resultados da Matéria Orgânica do solo (MOS), baseou-se em Sobral *et al.* (2015) que apresenta uma tabela interpretativa. No entanto, os resultados apresentados pelo autor (*op. cit.*) são calculados em dag/kg^{-1} (decagrama por quilograma). Desse modo, considerou-se a classificação textural (Textura *Arenosa <15% de argila*) da área de estudo, de acordo com Embrapa (2018b).

Como a análise obtida para este estudo está em g/dm^3 (grama por decímetro cúbico) realizou-se a conversão, adaptando-se o sistema de medida adotado pelos autores (*op. cit.*), fazendo a conversão de unidade de decagrama por quilograma (dag/kg^{-1}) para grama por decímetro cúbico (g/dm^3). Nessas condições, multiplicou-se o valor obtido nas análises por 10. *Convém destacar que o autor desenvolveu seus estudos numa na camada de 0 a 20 cm de profundidade em função da classe textural, na região do Cerrado.*

Nessas condições, após a análise interpretativa de Sobral *et al.* (2015), elaborou-se uma tabela (12) para interpretação da análise de solos da área de estudo, conforme apresentado a seguir:

Tabela 12: Tabela de Interpretação para o teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS), de acordo com Sobral *et al.* (2015).

	<i>Baixo</i>	<i>Médio</i>	<i>Alto</i>
<i>Matéria orgânica g/dm^3</i>	< 15	15,0 a 30,0	> 30,0

Fonte: Sobral *et al.* (2017). Adaptado pela Pesquisa (2024).

Diante do abordado, traz-se os resultados para análises a despeito do teor de matéria orgânica identificadas na área de estudo. Os dados que apresentaram os maiores resultados no teor MO foram o P03 (milho), com 21 g/dm³, P06 (Vegetação densa), com 26 g/dm³ e o ponto P07 (Carvoaria) 27 g/dm³. Assim, considera-se que esses valores são considerados médios para os três pontos supracitados. O ponto P03 (milho) indicava folhagens de milho na superfície do solo além de uma cobertura vegetal com o capim colônia e milharal. O ponto P06 (vegetação densa) apresentava camadas de serapilheiras e acúmulo de folhagem na superfície do solo e grande número de raízes nos locais coletados.

Já o ponto P07 (carvoaria), além do solo estar totalmente exposto e compactado com os usos intensos de maquinários para transporte de madeira e carvão vegetal, apresentava um processo de escoamento superficial no período chuvoso, observado no ato do trabalho de campo. Acredita-se que essa alta concentração de matéria orgânica deve-se ao acúmulo de restos de carvão vegetal espalhado nos locais de coletas e aos residuais de folhagens que foram compactadas durante o processo de preparação do local para a confecção dos fornos.

De acordo com a tabela (12), os demais pontos (P01 – Soja, P02 – Pastagem, P04 – Milheto e P05 – Pastagem) apresentaram teores *baixos* de MO. Esses solos tem passados por processos de usos intensos recentemente, desde o processo de aragem (soja e milheto) e o pisoteio do gado (pastagem) influenciando na dinâmica da superfície destes solos, dificultando o acúmulo de matéria orgânica, assim como o P8 – Solo exposto que apresentou teor muito baixo de MO, devido à falta de cobertura vegetal e do escoamento superficial, principalmente no período chuvoso.

Entretanto, de acordo com a literatura, a profundidade (0 a 10 cm) das coletas das amostras de solos, empregada para esse estudo, geraram “valores que não podem ser interpretados com base nas classes de disponibilidade de nutrientes disponíveis, pois a maioria das faixas de disponibilidade de nutrientes foram determinadas para a profundidade de 0-20 cm” (Prezotti, 2013). Afirma-se que o objetivo do presente estudo, não é uma análise para fins de plantio de culturas. Mas correlacioná-los com os usos da terra, para identificar, *a priori*, as potencialidades e ou fragilidades dos mesmos.

pH do solo

Teixeira *et al.* (2017), afirma que o pH (potencial hidrogeniônico) do solo é uma determinação da concentração de íons H⁺ na solução do solo, que tem influência na disponibilidade de nutrientes. Segundo o autor, a medição do potencial hidrogeniônico é

realizada por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: líquido (água, KCl ou CaCl_2), na proporção 1:2,5, que foi a metodologia adotada para as análises deste estudo.

Prezotti (2013), afirma que

O pH mede a acidez ativa do solo que é a atividade de H^+ presente na solução do solo, variando ao longo do tempo, alterando seu valor conforme o manejo do solo, cultivos sucessivos e adubações. [...] O pH do solo é um indicativo da sua fertilidade atual, isto é, da forma química em que o alumínio se encontra, se tóxica (Al^{3+}) ou precipitada ($\text{Al}(\text{OH})_3$), do nível de solubilidade dos macros e micronutrientes e da atividade de micro-organismos no solo (Prezotti, 2013, p. 14-15).

Nessa concepção, Ronquim, (2010) afirma que o pH indica a quantidade de íons hidrogênio (H^+) que existe no solo, concluindo que um solo é ácido quando possui muitos íons H^+ e poucos íons cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca. Para o autor,

Solos com acidez elevada (baixos valores de pH) geralmente apresentam: pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente); elevado teor de alumínio tóxico; excesso de manganês; alta fixação de fósforo nos coloides do solo e deficiência de alguns micronutrientes. O pH do solo é o indicador de uma situação biológico-físico-química e como tal seria enganoso considerar somente os seus efeitos químicos diretos às raízes (Ronquim, 2010. p. 11).

Diante dessa percepção referente ao pH e sua importância para o solo e com base na tabela 13 de Classe de interpretação da acidez ativa do solo (pH), proposta por Raij *et al.* (1997), apresenta-se os resultados das análises dos solos na área de estudo.

Tabela 13: Interpretação da acidez ativa do solo (pH), proposta por Raij *et al.* (1997).

pH (CaCl_2)	Acidez
$\leq 4,3$	Muito alta
4,4 a 5,0	Alta
5,1 a 5,5	Média
5,6 a 6,0	Baixa
$> 6,0$	Muito Baixa

Fonte: Raij *et al.* (1997). Adaptado pela Pesquisa (2024)

Os resultados das análises apontam que os pontos P02 (Pastagem), P03 (Milho) e P04 (Milheto) apresentaram solos ideais para as plantas, enquanto que os demais pontos apresentam solos devidamente ácidos necessitando de calagem, ou seja, de correção para deixá-lo ideal para o plantio. Assim, os pontos P01 (Soja), P05 (Pastagem), P06 (Vegetação densa), P07 (Carvoaria) e P08 (Solo exposto), de acordo com a literatura, são solos pobres em cálcio e

magnésio principalmente, com elevado teor de alumínio tóxico, excesso de manganês, alta fixação de fósforo nos coloides do solo e deficiência de alguns micronutrientes (Ronquim, 2010. p. 11)

Para Sobral *et al.* (2015), os solos que apresentam pH índices entre 5,5 a 7,0, são solos que apresentam uma faixa ideal para a maioria das culturas. Ronquim (2010) destaca que a correção do solo proporcionará inúmeros benefícios, como aumento do pH e até melhoria de propriedades físicas de alguns solos, neutralização do alumínio e manganês tóxicos, aumento dos teores de cálcio e magnésio, aumento da disponibilidade de fósforo e molibdênio, aumento da atividade de microrganismos.

Fósforo (P):

Fonseca & Borges (2021), destaca, que o Fósforo (P) é responsável pelos processos de armazenamento e transferência de energia, necessária a todos os processos biológicos, bem como influencia no desenvolvimento do sistema radicular e, quando indicado, deve ser aplicado na cova, ou seja, quando recomendado, deve ser aplicado no plantio, cuja disponibilidade é influenciada pelo teor de argila no solo.

Martha Júnior (2007), afirma que os solos do bioma Cerrado, são caracterizados por baixa reserva de fósforo e muito baixa concentração desse elemento na solução do solo, constituindo-se em uma das principais limitações ao desenvolvimento de qualquer atividade agrícola rentável sem a aplicação de adubos fosfatados.

Diante das concepções abordadas, apresenta-se os valores comparativos (tabela 14) que expressam a variação do teor de P, caracterizando-o quanto ao baixo, médio, alto e muito alto nível de distribuição no solo, levando-se em consideração a textura deste. Para a interpretação dos resultados, levou-se em consideração os valores de referência da textura arenosa, pois foi a textura identificada nos solos da área de estudo.

Tabela 14: Interpretação dos resultados de fósforo disponível com base na textura do solo, de acordo com Silva (2018).

Textura/Teor de argila (%)	Fósforo (P) disponível (mg/dm ³)			
	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Argilosa (> 35% de argila)	≤ 5,0	6,0 – 10,0	11,0 – 15,0	>15,0
Média (15 a 35% de argila)	≤ 8,0	9,0 – 15,0	16,0 – 20,0	> 20,0
Arenosa (< 15% de argila)	≤ 10,0	11,0 – 18,0	19,0 – 25,0	> 25,0

Fonte: Silva, (2018). Adaptado pela pesquisa (2024)

De acordo com as análises, os resultados que apresentaram maiores índices de P no solo foi o P02 (pastagem), com um total de 66 mg/dm³, seguido pelo ponto P01 (soja) com 20mg/dm³. O ponto P03 (milho) obteve 9 mg/dm³ e o P04, 10 mg/dm³. O ponto P08 (solo exposto) foi o que apresentou o menor índice, com 1 mg/dm³, seguido pelo ponto P03 (milho), com 3 mg/dm³ cada. P05 (pastagem) e P07 (carvoaria), apresentaram 4 mg/dm³, respectivamente.

Nessas condições esses solos com níveis baixos de P, encontrado nos pontos P04 (milho), P05 (pastagem), P06 (vegetação densa), P07 (carvoaria) e P08 (solo exposto), precisam de fertilização fosfatada, visando “elevar a disponibilidade de P no solo a níveis considerados satisfatórios, o que resultará num aumento do potencial produtivo da área, quando esta apresentar condições favoráveis de suprimento de água e dos demais nutrientes” (Souza *et al.* 2016).

Potássio (K)

O estudo do Potássio (K) é de suma importância para compreender a dinâmica do solo e sua função para as plantas, sendo este essencial para o desenvolvimento destas. Com isso, os solos que apresentam altos teores de potássio indicam a presença de minerais primários e pouco intemperismo, ocorrendo esse fato em solos de regiões mais secas. Por outro lado, baixos teores de potássio indicam solos mais intemperizados. Para corrigir essa deficiência e elevar o teor de potássio no solo, faz-se a aplicação de adubos contendo o nutriente, sendo o cloreto de potássio a fonte mais comum empregada no Brasil (Sobral *et al.*, 2015).

A tabela 15 a seguir apresenta os valores de referência para interpretação dos resultados do Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), acidez potencial – hidrogênio e alumínio (H + Al) e Alumínio (Al) de acordo com Luz *et al.* 2002.

Tabela 15: Classes de interpretação para as análises, proposta por Luz *et al.* 2002.

Componentes (mmol/dm³)	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
<i>K</i>	–	< 1,2	1,2 a 2,3	≥ 2,3	–
<i>Ca</i>	–	≤ 15,0	16,0 a 40,0	> 40,0	–
<i>Mg</i>	–	≤ 5,0	6,0 a 10,0	≥ 10,0	–
<i>H+Al</i>	–	≤ 25,0	26,0 a 50,0	> 50,0	–

Na	< 7,0	7,0 a 10,0	11,0 a 20,0	21,0 a 30,0	> 30,00
Al	–	≤ 3,0	4,0 a 10,0	> 10,0	–

Fonte: Luz *et al.* 2002. Adaptado pela pesquisa (2024)

Comparando os componentes analisados, os resultados apresentam que todas as amostras estão com K alto, sem necessidade de correção. Isso significa que o teor de Potássio é muito importante para a resistência às doenças e qualidade dos frutos. Caso houvesse deficiências, a mesma poderia ser corrigida com fertilizantes potássicos.

Destaca-se que o Potássio é essencial para todos os sistemas agrícolas e florestais, pois sua presença nos solos possui grande interferência na manutenção da vida de todo ecossistema (Luo *et al.*, 2023 Apud. Sá *et al.* 2024). Com isso, o Potássio (K) tem importante função tanto para a nutrição das plantas como para a regulação dos demais nutrientes compostos no solo, como ainda reduz a acidez deste, diminui a toxidez do alumínio (Al), cobre (Cu) e manganês (Mn) (Prietz *et al.*, 2021).

Cálcio (Ca)

Para o teor de Cálcio (Ca), os resultados obtidos apresentam baixos teores nos pontos P05 (pastagem), P06 (vegetação densa), P07 (carvoaria) e P08 (solo exposto), menor que 15 mmol_c/dm³. Os pontos que apresentaram melhores índices (médio), foram os pontos P01(soja), P02 (pastagem), P03(milho) e P04 (milheto), entre 19 e 39 mmol_c/dm³. Isso significa que os pontos com índices de Ca, menores ou iguais a 15 mmol_c/dm³, necessitam de carbonato de cálcio para suprir a necessidade deste no solo. A ausência de Cálcio no solo, é muito prejudicial e, quando aparece, embora raramente isso acontece, pode ser confundida facilmente com sintomas de pragas e doenças (Sá *et al.* 2024).

Magnésio (Mg)

Outro elemento importante é o Magnésio (Mg). A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS (2016), destaca que os teores de Ca e de Mg trocáveis [...] são enquadrados em três faixas: “Baixo”, “Médio” e “Alto”, conforme apresentado na Tabela 15, proposta por Luz *et al.* (2002). Conforme a SBCS (2016), os resultados que são considerados satisfatórios são aqueles que apresentam os teores de nutrientes situados na classe “Alto”, embora para

algumas culturas teores “Médio” de Ca e Mg já sejam suficientes para o bom desempenho agrônomo das mesmas.

A literatura aponta que os solos do Cerrado apresentam baixa disponibilidade de Ca e Mg. Castro *et al.* (2020) afirma que os solos brasileiros são de modo geral pobres em Mg, devendo-se tanto ao material de origem com baixas concentrações no nutriente quanto a intensos processos pedogenéticos ao longo da formação dos solos nos quais os produtos de intemperização como o Mg são lixiviados, sendo influenciado negativamente ainda pelo processo de acidificação do solo, devido à redução da estabilidade de carbonatos, sulfatos, silicatos e aluminossilicatos de Mg em meios ácidos.

Desse modo, os resultados para as análises da área de estudos mostraram que os pontos P01(soja), P02 (pastagem), P03(milho) e P04 (milheto) apresentaram altos índices de Mg. O ponto P06 (vegetação densa), um teor médio e os pontos P05 (pastagem), P07(carvoaria) e P08 (solo exposto), níveis baixos de magnésio (menor que 5 mmol/dm³. Isso significa que os pontos com altos índices, são considerados satisfatórios para as plantas. Enquanto que os solos com baixo índice, são solos que sofreram mais intemperismo ou enfrentaram processo de escoamento superficial, reduzindo a capacidade de nutrientes desses solos. Para resolver essa deficiência, é necessário a aplicação de calcário dolomítico, pois este possui uma composição de mais de 12% de magnésio (Sobral *et al.* 2015).

Acidez potencial (H+Al)

A acidez potencial (H+Al) é composta pela acidez trocável e não trocável e é representada pelo H + Al (Hidrogênio + Alumínio), estando relacionada diretamente com o pH do solo, ou seja, quanto mais baixo o pH (SMP) mais alto o H+Al (Sobral *et al.* 2015). Para Prezotti (2013), essas classes de interpretação são genéricas e de pouca aplicação prática, pois a determinação do H+Al tem por objetivo principal o cálculo da CTC Total do solo (T). Para o autor (*op. cit.*), os valores de H+Al são maiores em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem baixos valores de pH.

De acordo com essa abordagem, os resultados mostraram que os pontos com maior acidez trocável (H+Al) foram exatamente aqueles em que o pH foi baixo seguido do teor de matéria orgânica menor. O ponto de maior elevação de H+Al foi o ponto P06 (vegetação densa), com 104 mmol/dm³. Neste ponto, o teor de matéria orgânica foi de 26 g/dm³ e o pH 3,3 CaCl₂. O segundo ponto foi o P07 (Carvoaria), com 84 mmol/dm³, seguido do P08 com 40 mmol/dm³. Neste último, o teor de matéria orgânica foi o menor registrado nas análises, com 8 g/dm³ e pH

3,9 CaCl₂. Os demais pontos variam entre 9 mmol/dm³ (P03 – milho) a 32 mmol/dm³ (P05 – pastagem).

Alumínio (Al)

A presença do Alumínio (Al), está estritamente correlacionada com a acidez do solo. Com isso, o excesso de alumínio, inibe o crescimento radicular da planta, ou seja, o crescimento de raízes das plantas é reduzido, sendo igualmente afetado pela deficiência de cálcio (Ca), que acaba afetando o sistema radicular limitando a absorção de água, de nutrientes e, consequentemente, a produtividade das culturas (Sousa, *et al.* 2007).

De acordo com o autor (*op. cit.*), no bioma Cerrado o problema da acidez (excesso de alumínio, baixos teores de cálcio e de magnésio) não é só superficial, podendo ocorrer também subsuperficialmente. Para resolver essa deficiência, faz-se necessária a correção da acidez superficial e subsuperficial para obter melhor produtividade das culturas e maior eficiência no uso da água e dos nutrientes, aplicando-se, assim, o calcário para a camada superficial e o gesso para a subsuperficial (Sousa, *et al.* 2007).

Essa calagem irá neutralizar o alumínio do solo e fornecer cálcio e magnésio como nutrientes, promover o aumento da disponibilidade de fósforo e de outros nutrientes no solo, assim como da capacidade de troca de cátions efetiva e da atividade microbiana, entre outros benefícios, possibilitando maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, facilitando ainda mais a absorção e utilização dos nutrientes e da água pelas culturas (Sousa, *et al.* 2007). Veloso *et al.* (2020) na mesma percepção de Sousa *et al.* (2007), acentua que,

Os solos tropicais são, normalmente, ácidos, seja pela ocorrência de precipitação elevada, causando lixiviação de quantidades apreciáveis de bases trocáveis do solo, seja pela ausência de minerais primários e secundários, responsáveis pela reposição das bases. O próprio cultivo tende a acentuar o problema, por causa da absorção de cátions pelas raízes das plantas, deixando em seus lugares quantidades equivalentes de íons hidrogênio (Veloso *et al.* 2020, p. 121).

Como a acidez dos solos está estritamente inter-relacionada com o excesso de alumínio, Miguel *et al.* (2016), destaca que a presença do Al reduz o crescimento e o desenvolvimento das raízes e diminui a absorção de nutrientes, o que é desfavorável para o desenvolvimento de plantas sensíveis a esse elemento, afetando a produção agrícola que, para obter altos rendimentos, necessita de substratos que possibilitem o desenvolvimento das raízes sem obstáculos químicos e/ou físicos.

Desse modo, os solos no município de Santana do Maranhão que apresentaram resultados muito baixos, igual a 0 (zero) mmol_c/dm³, foram os pontos P01 (soja), P02 (pastagem), P03 (milho) e P04 (milheto). Os pontos P05 (pastagem) e P08(solo exposto), apresentaram resultados médios. Aqueles que apresentaram resultado muito alto (>10 mmol_c/dm³), foram os pontos P06 (vegetação densa) com 17 mmol_c/dm³ e P07 (carvoaria) com 12 mmol_c/dm³. Correlacionado com o pH do solo, percebe-se que os pontos que apresentaram índice elevado de Al, o pH foi fortemente ácido.

Isso implica que esses solos necessitam de correção, ou seja, por meio da calagem que é considerada uma prática fundamental para o uso eficiente dos fertilizantes pelas plantas, especialmente para as culturas sensíveis às condições de solos ácidos, tendo como objetivo elevar o pH do solo até determinado valor (pH 5,5 – 6,5), visando neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio do solo bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes essenciais disponíveis (Veloso *et al.*,2020).

Sódio (Na)

O sódio (Na), assim com outros nutrientes, como o selênio (Se), o silício (Si), cobalto (Co), alumínio (Al), vanádio (V) e níquel (Ni) são considerados elementos benéficos, pois estimula o crescimento das plantas, mas não são essenciais ou são essenciais para determinadas espécies de plantas ou sob determinadas condições específicas (Ronquim, 2020).

O excesso de sódio (Na) no solo, apesar de não ser um nutriente, mas às vezes presente nos sítios de troca dos solos da região semiárida, reduz a absorção K; a relação K/Na ideal no solo deve ser de 2,5 (Borges & Souza, 2021). Sobral *et al.* (2015) destaca que os teores de sódio nos solos dos Tabuleiros Costeiros e da Baixada Litorânea são baixos devido ao alto intemperismo, sendo mais alto na região Semiárida em função da presença de minerais primários devido ao baixo intemperismo.

Os resultados do teor de sódio encontrado para a área de estudo foram muito baixos, ou seja, <7 mmol_c/dm³. Desse modo, estes solos mostram-se adequados para o cultivo de qualquer cultura, sem haver a necessidade de correção desta para o plantio, pois, de acordo com Prezotti (2013) quando os solos são salinos, as raízes das plantas têm dificuldade de absorver água e nutrientes devido à elevada pressão osmótica proporcionada pelos sais, o que reduz a produção e pode levar à morte das plantas.

Hidrogênio (H)

O hidrogênio (H) é um elemento de suma importância para os solos, pois este encontra-se principalmente em forma não-dissociada no solo, ligado a grupamentos funcionais, de natureza orgânica ou mineral e apenas em teores muito baixos na forma do íon H^+ em solução (Raij *et al.* 2001). Por outro lado, a composição do hidrogênio no solo, assim como o carbono (C) e oxigênio (O), fornecidos pelo ar e pela água de determinados elementos minerais contribuem para que as plantas completem seu ciclo de vida, cresçam e se desenvolvam, sendo assim, essencial para estas (Ferreira; Cravo; Ferreira, 2020).

Por outro lado, quando o teor de H é elevado no solo, é indício de que este apresente um pH muito ácido ($\leq 4,3 - 5,0$ CaCl₂), ou seja, a concentração hidrogeniônica em solução, proporciona a acidez ativa do solo (Sobral *et al.* 2015), sendo esta denominada por Villar (2007), como a parte do hidrogênio que está dissociada, na solução do solo, na forma de H^+ e é expressa em valores de pH.

Nessa percepção, essa relação entre o H (hidrogênio) e o pH (potencial hidrogeniônico) nos solos, detectou-se que na área de estudo onde o pH variou entre Muito ácido e ácido (P01 – Soja, P05 – Pastagem, P06 – Vegetação densa, P07 – Carvoaria e P08 – Solo exposto), o índice de H foi elevadíssimo, principalmente nos solos com acidez muito alta ($\leq 4,0$) conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16: Comparação entre a acidez (pH) e o índice de H (hidrogênio) no solo)

Pontos observados/analizados	pH	H
	CaCl ₂	mmol _c /dm ³
P01 - Soja	4,8	28
P02 – Pastagem	6,0	15
P03 - Milho	7,0	9
P04 - Milheto	6,7	11
P05 – Pastagem	4,1	28
P06 - Vegetação Densa	3,3	88
P07 - Carvoaria	3,6	72
P08 - Solo exposto	3,9	34

Fonte: Própria Pesquisa (2024).

Isso mostra que os solos da área de estudo são potencialmente ácidos, ou seja, a maioria dos solos sob vegetação (P06 – vegetação densa e/ou sem vegetação como os pontos

P01 – soja, P05 – pastagem, P07 – carvoaria e P08 – solo exposto) da faixa de transição é ácido e, como principal consequência, pode ocorrer a presença de alumínio em quantidades tóxicas para as culturas (Villar, 2007), inibindo o transporte de macro e micronutrientes, e consecutivamente o desenvolvimento das plantas. Desta forma, para corrigir essa acidez, faz-se necessário através de calagem definindo a quantidade de calcário ou corretivo da acidez do solo para aumentar o pH, ou a saturação por bases, de uma condição ácida inicial, a um valor desejado, supostamente adequado para o crescimento ótimo das plantas (Raij *et al.*, 2001).

Carbono (C)

Assim como o hidrogênio, o carbono (C) é um elemento essencial para as plantas, assim como o oxigênio (O), que são fornecidos pelo ar e pela água de determinados elementos minerais contribuem para que as plantas completem seu ciclo de vida, cresçam e se desenvolvam, sendo assim, essencial para estas (Ferreira; Cravo; Ferreira, 2020).

Desse modo Souza, Prezzoti e Guarçoni (2012), destacam que o solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono em um ecossistema, sendo um componente dinâmico e sensível ao manejo realizado no solo. Isso mostra que o manejo inadequado, as queimas, a agricultura convencional, o revolvimento do solo, tem ocasionado sérios danos ao ambiente e ao planeta, pois partes desse carbono são devolvido para atmosfera em forma de gás carbônico ou como comumente é conhecido gases de efeito estufa (GEE).

O carbono está correlacionado com a matéria orgânica no solo. Quando essa é submetida a pressão, através do revolvimento do solo, podem assumir um papel desastroso, pois podem mineralizar a matéria orgânica e emitir grandes quantidades de GEE para a atmosfera, demonstrando que manejos ecológicos e adequado para os solos representam um grau de muita importância para o planeta atualmente (Souza; Prezzoti; Guarçoni, 2012).

Para reverter essa situação, é necessário o manejo adequado com a prática da agricultura orgânica, incorporando restos culturais e resíduos orgânicos, a adubação verde e as rotações utilizando cultivos de cobertura com gramíneas ou leguminosas, retém o carbono nos solos por décadas, inclusive séculos (Souza; Prezzoti; Guarçoni, 2012).

Em suma, os resultados das análises para a área de estudo mostram essa relação do teor de matéria orgânica com o índice de carbono no solo. Ou seja, os pontos onde o teor de matéria orgânica foi alto, o índice de C também foi elevado, conforme aprestado na tabela 17.

Tabela 17: Comparação entre o teor de matéria orgânica (MO) e o carbono (C) no solo.

<i>Pontos observados/analizados</i>	<i>M.O (g/dm³)</i>	<i>C (g/dm³)</i>
<i>P01 – Soja</i>	15	8,7
<i>P02 – Pastagem</i>	12	7,0
<i>P03 – Milho</i>	21	12,3
<i>P04 – Milheto</i>	10	6,0
<i>P05 – Pastagem</i>	11	6,4
<i>P06 – Vegetação Densa</i>	26	14,9
<i>P07 – Carvoaria</i>	27	15,9
<i>P08 – Solo exposto</i>	8	4,6

Fonte: Própria Pesquisa (2024)

Os pontos P03 (Milho), P06 (Vegetação Densa) e P07 (Carvoaria) foram os que apresentaram melhores resultados de C. O ponto P03 (milho) (12,3 g/dm³), resultada da cobertura vegetal composta pelo milharal e o capim colônia (figura 66) que haviam coberto todo os espaços na propriedade. No ponto P06 (vegetação densa) (14,9 g/dm³), encontrou-se o solo totalmente coberto por serrapilheira, ou seja, por restos de matéria orgânica sobreposta ao solo. O P07(carvoaria) (15,9 g/dm³), apesar de estar totalmente descoberto na área de coleta e em torno da carvoaria, apresentou o melhor resultado. Supõe-se que este deve-se ao incremento de matéria orgânica (folhagem) no ato do preparado da propriedade com maquinários para a implantação dos fornos. Enquanto o menor teor de MO e C detectou-se no ponto P08 (Solo exposto). Isso mostra o quanto a falta da cobertura vegetal e das gramíneas para proteger o solo incide sobre resultados propostos.

Figura 66: Cobertura vegetal composta por milharal e capim-colônia (P03).



Fonte: Própria Pesquisa (2023).

Desse modo, compreende-se que o teor de carbono no solo, depende do teor de matéria orgânica e que esta por sua vez proporciona tanto os macros e micronutrientes como aumenta a capacidade física, química, mineralógica e biológica de solos para o desenvolvimento e crescimento das plantas.

Soma de bases – SB (mmol_c/dm³)

Prezotti & Guarçoni (2013) destacam que a soma de bases (SB), representa a soma das bases presentes no solo, ou seja, dos elementos K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. Para Roquim (2020), a soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H⁺ e Al³⁺ ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$) com valores expressos em mmol_c/dm³ ou cmol_c/dm³. Segundo Roquim (2020), a SB dá uma indicação do número de cargas negativas dos coloides que está ocupado por bases.

Prezotti & Guarçoni (2013) veem a SB como instrumento de interpretação e tomada de decisão agronômica que é essencial para ajustar insumos (calagem, fertilizantes) com precisão. Por outro lado, Roquim (2020) reforça a função da SB como indicador de pobreza química, evidenciando áreas com risco de degradação em solos tropicais que exigem estratégias de manejo mais intensas.

Com base nessas informações, observa-se que os resultados apresentaram valores médios, dos quais destacam-se os pontos P01 (soja), com 36,9 mmol_c/dm³, P02 (pastagem), com 40,3 mmol_c/dm³, P03 (milho) 49,7 mmol_c/dm³, P04 (milheto), com 41,9 mmol_c/dm³, P06 (vegetação densa) com 20,0 mmol_c/dm³ e P07 (carvoaria) com 21,9 mmol_c/dm³. Enquanto isso, os pontos P05 (pastagem) e P08 (solo exposto), apresentaram valores baixos, com 14,2 mmol_c/dm³ e 12,1 mmol_c/dm³, respectivamente. Nessas condições, considera-se que esses solos necessitam de ajustes de insumos para atingirem a qualidade ideal para o cultivo.

Capacidade de troca de cátions – CTC efetiva (t) (mmol_c/dm³)

Conhecer a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo é de suma importância para compreendê-lo e o sistema de produção. Desse modo, a CTC influencia no equilíbrio do solo, proporcionando disponibilidade de nutrientes, estabilizando o pH do solo e como este reage com fertilizantes.

Raij *et al.* (2001), destaca que a capacidade de troca de cátions é um dos mais importantes atributos do solo, pois representa a quantidade de íons positivos que podem ser

retidos no solo por atração eletrostática, ou seja, por atração de cargas elétricas opostas. Os cátions trocáveis são Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+} . Desses elementos, o autor (*op. cit.*) destaca que os primeiros são cátions básicos e o último é ácido, sendo o H, um elemento importante, pois se encontra principalmente em forma não-dissociada no solo, ligado a grupamentos funcionais, de natureza orgânica ou mineral e apenas em teores muito baixos na forma do íon H^+ em solução.

De acordo com Novais *et al.* (2007), a CTC é fundamental para a fertilidade do solo, pois quanto maior a CTC, maior a capacidade do solo de reter e fornecer nutrientes para as plantas. Os cátions adsorvidos não apenas nutrem as plantas, mas também participam de trocas com outros elementos presentes na solução do solo, por isso são denominados trocáveis.

Para Sobral *et al.* (2015), a capacidade de troca catiônica é um dado a ser considerado no manejo da adubação, pois em solos de baixa CTC, o parcelamento do nitrogênio e do potássio é necessário para evitar perdas por lixiviação. Raij *et al.* (2001) explicam que os solos arenosos, onde a CTC é baixa, há maior risco de deficiência nutricional e necessidade de manejo mais intenso da adubação.

Além disso, Ker (1997) destaca que a natureza e o pH do solo influenciam diretamente a CTC: em solos mais ácidos, a disponibilidade de cargas negativas pode ser menor, o que reduz a retenção de nutrientes essenciais.

Com base nessas prerrogativas, constata-se que os resultados das análises de solos apresentaram valores altos, tendo como destaque os pontos P06 (vegetação densa), com 124,0 mml/dm³ e P07 (carvoaria), com 105,9 mml/dm³, podendo considerar, nessas condições valores muito altos para esses dois pontos. São pontos que, do ponto de vista de matéria orgânica, apresentaram melhores condições dentro da perspectiva proposta por Raij *et al.* (2001), ao explicar que os solos com maiores teores de matéria orgânica e argila apresentam maior CTC, sendo mais férteis e menos sujeitos à perda de nutrientes. Portanto, a compreensão da CTC é essencial para práticas de manejo eficiente da fertilidade do solo, sendo um indicador importante da capacidade do solo de sustentar o crescimento vegetal.

Capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T)

Prezotti (2013), afirma que a CTC é uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo, pois indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7. Para este autor, essas cargas são aptas a adsorver (reter) os nutrientes de carga positiva (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), adicionados ao solo via

calagem ou adubações e outros elementos como Al^{3+} , H^+ , Na^+ etc. Para ele, para realizar o cálculo da T é necessário que os elementos estejam expressos na mesma unidade (cmol/dm^3). Como os dados obtidos na análise foram expressos em mmol/dm^3 , realizou-se a conversão adotada pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), multiplicando-se os valores da unidade de cmol/dm^3 , por 10, obtendo-se os valores necessários para a interpretação dos resultados.

A Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0) é uma medida da capacidade máxima do solo de reter cátions (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+ etc.) em condições neutras de pH, ou seja, é a CTC potencial obtida quando o pH em água do solo é elevado até 7,0 (SBCS, 2016). Essa medida representa a capacidade potencial total de troca de cátions que o solo possui, independentemente do seu pH natural, sendo usada como indicador da reserva de cargas negativas nos colóides do solo, como a argila e a matéria orgânica.

A CTC a pH 7,0 é de suma importância para os estudos dos solos, pois permite avaliar o potencial de fertilidade destes, mesmo em solos naturalmente ácidos. Ela é essencial pois estimula a capacidade total de retenção dos nutrientes, contribui para a avaliação da necessidade de calagem, ou seja, da correção da acidez do solo, permite classificar os tipos de solos quanto à sua fertilidade potencial, além de contribuir para o planejamento quanto à adubação e o manejo da terra.

Segundo Novais *et al.* (2007), a CTC a pH 7 é usada para determinar a capacidade máxima de troca de cátions do solo, refletindo seu potencial para manter e fornecer nutrientes às plantas em condições ideais de pH. Raji *et al.* (2001) explicam que a CTC a pH 7,0 representa a soma das cargas negativas que o solo pode desenvolver, independentemente do pH atual, sendo muito útil em solos ácidos, onde parte das cargas dependem do pH, ou seja, das cargas variáveis. Para Ker (1997) os solos com alta CTC a pH 7,0 tendem a ter maior capacidade de sustentação de culturas agrícolas e menor risco de lixiviação de nutrientes, o que favorece o uso agrícola intensivo, desde que bem manejados.

Segundo Prezotti (2013) os solos que apresentam CTC a pH 7,0 acima de 10 cmol/dm^3 (o equivalente a 100 mmol/dm^3 , após transformar o cmol/dm^3 em $\text{mmol}/\text{dm}^3 \Rightarrow \text{cmol}/\text{dm}^3 * 10 = \text{mmol}/\text{dm}^3$) geralmente também apresentam elevado poder tampão, isto é, necessitam de maior quantidade de calcário para alterar o pH.

Nessas condições, os pontos P06 (vegetação densa) e P07 (carvoaria) apresentaram os maiores índices, com 119,8 mmol/dm^3 (P05) e 101,8 mmol/dm^3 (P07), indicando que esses solos, segundo a percepção de Prezotti (2013), necessitam de maiores quantidades de calcário para alterar o pH dos mesmos. Os pontos, P01 (soja), P02 (pastagem) e P03 (milho), apresentaram valores médios, com 60,9 mmol/dm^3 , 50,9 mmol/dm^3 e 54,3 mmol/dm^3 ,

respectivamente, dentro da proposta estabelecida por Sobral *et al.* (2015). Nessas condições, os referidos pontos indicam a necessidade de correções no pH e elevação dos macros e micronutrientes que necessitam serem retidas nos solos. Os pontos P04 (milheto), P05 (pastagem) e P08 (solo exposto), apresentaram valores baixos, com 48,9 mmolc/dm³ (P04), 42,5 mmolc/dm³ (P05) e 48,3 mmolc/dm³ (P08), ou seja, menor que 50% CTC a pH 7,0, que indicam que os solos apresentam baixa fertilidade.

Saturação de bases – V (%)

Sobral *et al.* (2015), afirma que a saturação por bases é a proporção da capacidade de troca catiônica ocupada pelas bases. Ronquim (2010), destaca que a saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Para este autor, os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases, sendo solos eutróficos (férteis) = $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$. Para o mesmo autor (*Ibid.*, 2010), os solos distróficos podem ser muito pobres em Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e apresentar teor de alumínio trocável muito elevado, chegando a apresentar saturação em alumínio (m%) superior a 50% e, nesse caso, são classificados como solos álicos (muito pobres): Al trocável ≥ 3 mmol/dm³ e m% $\geq 50\%$.

De acordo com essa percepção, os pontos analisados que apresentaram melhores condições dentro dos parâmetros indicados, foram os pontos P02 (pastagem), P03 (milho) e P04 (milheto), com 72,9 %, 84,7 % e 79,2% respectivamente. Segundo Sobral *et al.* (2015), os solos que apresentam saturação por bases maiores que 70% indicam que não há necessidade de calagem, ou seja, são solos que estão dentro dos parâmetros propostos pela literatura como sendo solos aptos aos cultivos das diversas culturas. O ponto P01 (soja), com 56,9 %, apresenta um resultado médio, indicando não ser um solo totalmente ácido, mas que requer uma atenção e um cuidado quanto à alcalinidade deste. Os demais pontos, P05 (pastagem), P06 (vegetação densa), P07 (carvoaria) e P08 (solo exposto) apresentaram resultados baixos. Segundo Sobral *et al.* (2015), os solos com saturação por bases menor que 50%, têm cargas ocupadas por componentes da acidez H ou Al e necessitam de correção.

Porcentagem de Sódio Trocável (PST)

Sobral *et al.* (2015), afirmam que a porcentagem de sódio trocável (PST) é o percentual de Na^+ em relação à capacidade total de troca de cátions, sendo obtido seu valor,

através da fórmula $PST = (Na^+/CTC \text{ potencial}) * 100$. Para esse autor, a PST (%) é considerada baixa quando for $< 6,0\%$, média $6 - 15 \%$ e alta $> 15,0\%$, conforme apresentado na tabela 18.

Conhecer a PST dos solos, é um fator de suma importância pois permite identificar o teor de salinidade destes e o quanto podem comprometer os tipos de culturas a serem implementadas no cultivo. Assim, Ribeiro *et al.* (2016), destaca que os solos são considerados salinos, segundo o USSSL Staff (1954), quando a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) é $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ e a percentagem de Na^+ trocável (PST) é $< 15\%$, sendo o pH destes solos, menor que 8,5.

Ribeiro *et al.* (2016), destaca ainda que, o aumento da população e a pressão econômica pela produção de alimentos na Região Nordeste, tem resultado no aumento da área de solos degradados por salinidade e sodicidade, em virtude da expansão das áreas irrigadas em terras marginais, do uso de águas salinas na irrigação, do manejo inadequado da água e do solo e da ausência de drenagem, com grandes prejuízos para a economia regional (Ribeiro *et al.*, 2016, p. 9).

Nessa percepção, os pontos P01 (soja) $6,2\%$, P02 (pastagem) $8,0\%$, P03 (milho) $7,5\%$, P04 (milheto) $7,6\%$, P05 (pastagem) $8,0\%$ e P08 (solo exposto) $7,3\%$, apresentaram valores médios, ou seja, entre $6,0$ e 15% . Os demais pontos P06 (vegetação densa) com $3,4\%$ e P07 (carvoaria), com $3,9\%$, foram os que apresentaram valores baixos. Em suma, de acordo com Ribeiro *et al.* (2016), esses solos são considerados salinos, por apresentarem uma percentagem de sódio trocável (PST) menor que $< 15\%$.

Diante do exposto, foi possível observar que as práticas agrícolas predominantes, voltadas especialmente para cultura da soja, produção de carvão vegetal, a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva (pastagem), estão diretamente relacionadas às limitações dos solos locais. Além disso, o levantamento revelou impactos como processos de degradação, compactação dos solos, associados ao uso inadequado da terra e à ausência de práticas conservacionistas. Os resultados obtidos reforçam a importância de estratégias de manejo, visando a preservação da qualidade dos solos e a garantia da produtividade agrícola a longo prazo, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do município de forma equilibrada e ambientalmente responsável.

Portanto, analisar os aspectos físicos e químicos dos solos é de extrema importância para avaliar a fertilidade e orientar práticas de correção e adubação destes. A Tabela 18 sintetiza os principais parâmetros químicos dos solos da área de estudo, com faixas de classificação para esses atributos, servindo como referência para interpretação dos resultados laboratoriais.

Tabela 18: Tabela síntese para interpretação de resultados de análises químicas de solos

	<i>Muito Baixo</i>	<i>Baixo</i>	<i>Médio</i>	<i>Alto</i>	<i>Muito alto (a)</i>
<i>Matéria Orgânica</i>	–	< 15,0	15,0 - 30,0	> 30,0	80,0 - 150,00*
<i>pH (CaCl₂)**</i>	> 6,0	5,6 a 60	5,1 - 5,5	4,4 - 5,0	≤ 4,3
<i>P (mg/dm³)</i>	–	≤ 10,0	11,0 - 18,0	19,0 - 25,0	> 25,0
<i>K (mmol_c/dm³)</i>	–	< 1,2	1,2 - 2,3	≥ 2,3	–
<i>Ca (mmol_c/dm³)</i>	–	≤ 15,0	16,0 - 40,0	> 40,0	–
<i>Mg (mmol_c/dm³)</i>	–	≤ 5,0	6,0 - 10,0	≥ 10,0	–
<i>H + Al (mmol_c/dm³)</i>	–	≤ 25,0	26,0 - 50,0	> 50,0	–
<i>Na (mmol_c/dm³)***</i>	< 7,0	7,0 a 10,0	11,0 - 20,0	21,0 - 30,0	> 30,00
<i>Al (mmol_c/dm³)</i>	–	≤ 3,0	4,0 - 10,0	> 10,0	–
<i>H (g/dm³)****</i>	*****				
<i>C (g/dm³)</i>	–	< 4,6	4,6 - 8,7	> 8,7	–
<i>SB (mmol_c/dm³)</i>	≤ 6,0	6,1 - 18,0	18,1 - 36,0	36,1 - 60,0	> 60
<i>CTC efetiva (t) (mmol_c/dm³)</i>	–	< 20,0	20,0 - 40,0	> 40,0	–
<i>CTC a pH 7 (T) (mmol_c/dm³)</i>	–	< 50,0	50,0-150,0	> 150,0	–
<i>V%</i>	–	< 50,0	50,0 - 70,0	> 70,0	–
<i>PST%</i>	–	< 6,0	6,0 - 15,0	> 15,0	–

Fonte: Raij *et al.* (1997); Alvarez V. (1999); Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999); Luz *et al.* (2002); Amorim *et al.* (2010); Sobral *et al.* (2015); *Reetz (2017) Silva, (2018), Almeida (2020). Adaptado pela pesquisa (2024). Observações: **O pH foi apresentado de maneira invertida, pois quanto menor for o valor, maior será sua acidez no solo. Solos com pH **muito baixo** (6,0 até 7,0), **baixo** (5,6 a 60) e **médio** (5,1 a 55), são adequados para a maioria das culturas cultivada no Brasil. Solos com pH acima de 7,00, indica basicidade ou alcalinidade, que são bastantes comuns em solos de fertilidade elevada (Martins, 2005). ***Os valores de referências do Sódio (Na) são apresentados por Amorim (2010), em o Porcentagem de Sódio Trocável (PST). Para fazer a interpretação da análise realizada na área de estudo e obter os dados em PST, aplicou-se a seguinte fórmula: $PST = Na \div (Ca + Mg + K + Na + H + Al) * 100 (\%)$. **** De acordo com Raij *et al.* (1997), o teor de Hidrogênio não possui valores absolutos definidos. O mesmo está associado ao pH e ao H+Al (acidez potencial) no solo. *****Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999), consideraram que a Soma de Bases menor que ou igual a 6,0 mmol_c/dm³ (≤ 6,0) é considerado muito baixo; entre 36 a 60 (mmol_c/dm³) é considerada boa (bom) e os valores maiores que 60 (>60,0 mmol_c/dm³) é considerada muito boa.

O Quadro 2 apresenta uma síntese das principais potencialidades, fragilidades e recomendações relacionadas aos solos do município de Santana do Maranhão, permitindo uma abrangência integrada de suas características ambientais e produtivas. As potencialidades destacam aptidões agrícolas naturais favoráveis ao uso e ao desenvolvimento de práticas conservacionistas, enquanto as fragilidades evidenciam limitações físicas, químicas e de manejo que podem comprometer a qualidade do solo através dos usos intensos da terra. As recomendações, por sua vez, orientam ações de conservação, manejo adequado e mitigação de impactos ambientais, contribuindo para a tomada de decisões para a gestão territorial planejada.

Quadro 2: Quadro síntese das potencialidades, fragilidades e recomendações para os solos no município de Santana do Maranhão

Pontos	Análises químicas	Recomendações	Granulometria			Ds	Dp	PT	Potencialidades	Fragilidades
			Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	— g/cm³ —		%		
P01 - Soja	M.O.: 15 g/dm³ (Baixo) pH (CaCl₂): 4,8 (Acido) P: 20mg/dm³ (Médio) K: 2,9mg/dm³ (Alto) Ca: 19mmolc/dm³ (Médio) Mg.: 11 mmolc/dm³ (Adequado) (H+Al): 28mmolc/dm³ (Médio) Na: 4,0mmolc/dm³ (Muito baixo/adequado) Al: 0,0mmolc/dm³ (Baixo) C: 8,7 g/dm³ (Médio)	✓ Amostras com pH ideal: P02 (Pastagem), P03 (Milho) e P04 (Milheto) Solos com pH muito baixo (6,0 até 7,0), baixo (5,6 a 60) e médio (5,1 a 55), são adequados para a maioria das culturas cultivada no Brasil. Solos com pH acima de 7,00, indica basicidade ou alcalinidade, que são bastantes comuns em solos de fertilidade elevada (Martins, 2005). Alvarez V. (1999), destaca que a tolerância das culturas à acidez e à fertilidade do solo varia. Por isso, a interpretação das classes de fertilidade deve considerar as exigências específicas de cada atividade agrícola, pecuária ou florestal.	90,13	7,20	2,67	1,68	2,78	39,67	De acordo com a literatura, os solos em condições naturais encontrados na área de estudo, apresentam baixas potencialidades, pois apresentam pH muito alto e baixo teor de macros e micronutrientes necessários para as plantas. Para que esteja adequado para as culturas, é necessário fazer as devidas correções, a partir das carências dos nutrientes químicos, levantados nas análises laboratoriais. Ressalta-se ainda que os solos, por apresentar uma textura arenosa, incide na baixa capacidade de armazenamento de água, fazendo com que as plantações exijam mais do agricultor que incremente o sistema de irrigação para que as culturas atinjam os limites adequados para que possam	Os solos analisados na área de estudo foram os Neossolos Quartzarênico Órtico e Latossolos Amarelos Distróficos com textura arenosa, de granulometria média. Nessas condições, são solos considerados frágeis, pois sua fragilidade intrínseca está ligada ao fato de serem solos de textura superficial muito arenosa, com baixo teor de matéria orgânica, reduzida estabilidade de agregados e limitada capacidade de armazenamento de água (Amado <i>et al.</i> , 1999). De acordo com Castro & Hernani (2015), tanto os Latossolo quanto os Neossolos, são susceptíveis à erosão, por serem muito arenosos e apresentam sérias limitações pela sua elevada erodibilidade e
P02 - Pastagem	M.O.: 12 g/dm³ (Baixo) pH (CaCl₂): 6,0 (Neutro) P: 66mg/dm³ (Muito Alto) K: 2,9mg/dm³ (Alto) Ca: 18mmolc/dm³ (Médio/Adequado) Mg: 15mmolc/dm³ (Alto) (H + Al): 15mmolc/dm³ (Baixo) Na: 4,4mmolc/dm³ (Baixo/Adequado) Al: 0,0mmolc/dm³ (Baixo) C: 7,0 g/dm³ (Médio)	Alvarez V. (1999), destaca que a tolerância das culturas à acidez e à fertilidade do solo varia. Por isso, a interpretação das classes de fertilidade deve considerar as exigências específicas de cada atividade agrícola, pecuária ou florestal.	91,45	6,05	2,50	1,69	2,84	40,39		
P03 - Milho	M.O.: 21 g/dm³ (Médio) pH (CaCl₂): 7,0 (Neutro) P: 9mg/dm³ (Baixo) K: 3,3mg/dm³ (Alto) Ca: 39mmolc/dm³ (Médio) Mg: 13mmolc/dm³ (Alto/Adequado) H + Al: 9mmolc/dm³ (Baixo) Na: 4,4mmolc/dm³ (Baixo/Adequado) Al: 0,0mmolc/dm³ (Baixo) C: 12,3 g/dm³ (Alto)	✓ Os demais pontos o pH são ácidos, podendo haver necessidade de calagem.	88,47	9,53	2,00	1,76	3,18	44,16		
P04 - Milheto	M.O.: 10 g/dm³ (Baixo) pH (CaCl₂): 6,7 (Neutro) P: 10mg/dm³ (Baixo) K: 2,9mg/dm³ (Alto) Ca: 21 mmolc/dm³ (Médio) Mg: 14mmolc/dm³ (Alto/Adequado) H + Al: 11 mmolc/dm³ (Baixo) Na: 4,0mmolc/dm³ (Muito baixo/Adequado) Al: 0,0mmolc/dm³ (Baixo)K C: 6,0 g/dm³ (Médio)	✓ Os Pontos P1 (soja) e P2 (pastagem) apresentam resultados “médio baixo” de MO. Os pontos p3 ao p7, apresentaram resultados médios. Já o p8 (Solo exposto) apresentou resultado baixo, devido a sua falta de cobertura vegetal, o que necessitaria	92,36	7,42	0,22	1,69	2,53	33,41		

P05 - Pastagem	M.O.: 11 g/dm³ (Baixo) pH (CaCl₂): 4,1 (Muito Ácido) P: 4mg/dm³ (Baixo) K: 2,5mg/dm³ (Alto) Ca: 5mmolc/dm³ (Baixo) Mg: 3mmolc/dm³ (Baixo) H + Al: 32mmolc/dm³ (Médio) Na: 3,7mmolc/dm³ (Baixo/Adequado) Al: 4,0mmolc/dm³ (Médio) C: 6,4 g/dm³ (Médio)	de adubação verde, restos de culturas para plantios de outras culturas caso fosse necessário; ✓ Os pontos P03 (Milho); P05 (Pastagens); P06 (Vegetação densa – mata); P07 (Carvoaria); P08 (Solo exposto), necessitam de fertilização fosfatada, por apresentar baixo teor de fósforo no solo.	88,97	10,78	0,26	1,51	2,54	40,40	sobreviver nas condições climáticas identificadas na área de estudo. De acordo com Sousa & Lobato (1996), os solos arenosos têm em geral usos agrícolas limitados, devido ao fato de apresentarem baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade de retenção de água e maior suscetibilidade a erosão.	muito baixa capacidade de água disponível para as plantas, além do muito pequeno potencial de reserva de nutrientes. A suscetibilidade erosiva dos solos das unidades RQo1 e RQo2 fica atenuada nas posições de topo, com relevo mais suavizado.
P06 - Vegetação densa	M.O.: 26 g/dm³ (Médio) pH (CaCl₂): 3,3 (Muito Ácido) P: 3mg/dm³ (Baixo) K: 2,8mg/dm³ (Alto) Ca: 6mmolc/dm³ (Baixo) Mg: 7mmolc/dm³ (Médio) H + Al: 104mmolc/dm³ (Muito Alto) Na: 4,2mmolc/dm³ (Adequado) Al: 17,0mmolc/dm³ (Baixo) C: 14,9 g/dm³ (Alto)	✓ Todas as amostras estão com K alto, sem necessidade de correção. ✓ A deficiência de Alumínio (Al) no solo é corrigida através de calcário ou gesso agrícola; ✓ Amostras P06 (Vegetação Densa), P07 (Carvoaria) e P08 (solo exposto) possuem níveis muito altos de H + Al	87,03	12,73	0,24	1,52	2,56	40,73	Nessas condições, destaca-se que os solos dos pontos analisados apresentam poucas potencialidades, sendo necessários a preparação dos mesmos com a correção e aplicação de adubação química para elevar os micros e macronutrientes, para que possam rentabilizar conforme o planejamento e a cultura desejada para o plantio.	
P07 - Carvoaria	M.O.: 27 g/dm³ (Alto) pH (CaCl₂): 3,6 (Muito Ácido) P: 4mg/dm³ (Baixo) K: 2,8mg/dm³ (Alto) Ca: 14mmolc/dm³ (Baixo) Mg: 14mmolc/dm³ (Alto/Adequado) H + Al: 84mmolc/dm³ (Muito Alto) Na: 4,1 mmolc/dm³ (Muito baixo/adequado) Al: 12,0mmolc/dm³ (Alto) C: 15,9 g/dm³ (Muito Alto)	(Acidez total ou potencial), indicando alta acidez e necessidade de calagem através da aplicação de calcário. A amostra P02 (pastagem) possui um pH adequado, mas o teor de fósforo está excessivamente alto. Já as amostras P01 (soja), P05 (pastagem) e P06 (vegetação densa) necessitam de ajuste nos níveis de fósforo e calagem para correção do pH, cuja finalidade é a correção desses solos, deixando-os propícios para os cultivos.	87,23	12,57	0,20	1,65	2,51	34,18		
P08 - Solo exposto	M.O.: 8 g/dm³ (Baixo) pH (CaCl₂): 3,9 (Muito Ácido) P: 1mg/dm³ (Muito Baixo) K: 2,3mg/dm³ (Médio) Ca: 3mmolc/dm³ (Baixo) Mg: 3mmolc/dm³ (Baixo) H + Al: 40mmolc/dm³ (Médio) Na: 3,8mmolc/dm³ (Muito baixo/adequado) Al: 6,0mmolc/dm³ (Médio) C: 4,6 g/dm³ (Baixo)		88,00	11,70	0,30	1,69	2,60	35,00		

Fonte: Própria Pesquisa (2025)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Santana do Maranhão vem passando por um processo de transformação em sua paisagem, principalmente no que se refere aos usos da terra. Por encontrar-se geograficamente na faixa de transição com predominância do bioma Cerrado, marcado pelos avanços do agronegócio vem alterando os atributos do solo. Os avanços agrícolas se deram por ocasião da extensão dos campos de soja no Norte do município de Santa Quitéria ao Sul de Santana do Maranhão. Esses avanços das fronteiras agrícolas chegam até o Centro Sul da área de estudo com a extração de madeira e, conseqüentemente, os campos abertos que restaram, servem de campos de pastagem para o gado.

A visão sobre a Teoria Geossistêmica no estudo da paisagem no município de Santana do Maranhão, possibilitou compreender que as atividades desenvolvidas na área de estudo pautaram-se no conhecimento integrado dos recursos naturais e a correlação com os usos da terra nos diferentes modos de produção econômica da região.

Baseado na visão sistêmica, nesse estudo refletiu-se sobre o conceito de paisagem, permitindo uma melhor compreensão sobre os sistemas naturais através do funcionamento da paisagem e como esta se estrutura, a partir da distinção da dinâmica dos elementos da natureza. Destaca-se que foi possível analisar as alterações na paisagem da área de estudo ao longo dos últimos anos, de 2020 a 2024.

Observou-se que os usos da terra, no município de Santana do Maranhão, têm causado grande interferência na paisagem natural, em decorrência da presença de atividades agropecuárias, nos quais estão em constante processo de alterações, o que se constatou através dos trabalhos de campo. Com base nas reflexões, observou-se que os usos da terra, crescentes no campo de estudo foi a agropecuária, com o cultivo de soja, pecuária e a produção de carvão vegetal.

Analisando essas mudanças na paisagem, em decorrência dos avanços dos usos e cobertura da terra, foi de suma importância a realização da classificação supervisionada da área de estudo, pois esta contribuiu para analisar as mudanças ocorridas na dinâmica da paisagem, resultado das intensas áreas que estão sendo desenvolvidas as diversas atividades humanas, como a agricultura convencional, a produção de carvão vegetal e os campos de pastagens.

Os resultados deste estudo demonstram que o emprego das técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto são de grande importância para o conhecimento das formas de uso e ocupação da terra no município de Santana do Maranhão. Mas só é evidente

que tais técnicas são possíveis quando refinam-se as informações e se tem o conhecimento das áreas de estudo, através da observação *in loco*, através do trabalho de campo.

O uso das ferramentas de geoprocessamento é de fundamental importância, pois ajudam a subsidiar os métodos para elaboração de mapas de uso e ocupação visando as tomadas de decisões para recuperação e preservação ambiental, geoespacializando no tempo e no espaço. Observa-se ainda que as atividades voltadas para o uso e ocupação da terra modificam a paisagem, influenciando na dinâmica desta no município.

Diante das análises físicas e químicas do solo, constatou-se que estes são de suma importância para a caracterização dos solos, além de identificar as potencialidades e/ou fragilidade dos mesmos. Assim, os resultados apresentam que 62,5% (5 dos 8 pontos coletados – P01, P05, P06, P07 e P08), apresentam pH ácidos ou níveis muito altos de H + Al, indicando alta acidez e necessidade de calagem, cuja finalidade é a correção desses solos, deixando-os propícios para os cultivos. Desses, apenas 37,5% (3 dos 8 pontos – P02, P03 e P04) apresentam pH ideal para as culturas. O ponto P02 (Pastagem), possui um pH adequado, mas o teor de fósforo está excessivamente alto. Destaca-se ainda que a maioria das amostras necessitam de ajuste nos níveis de fósforo e calagem para correção do pH.

Quanto aos teores de Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), H + Al e Alumínio (Al), os resultados mostram que os solos estudados, devido ao processo de degradação através dos usos intensos e ainda com o processo de escoamento superficial que aumentam o potencial de perdas desses nutrientes nos solos, os mesmos necessitam de correções e incrementos de adubação que eleve os teores e índices necessários para as plantas, aumentando o potencial agrícola na área de estudo.

Os solos possuem uma textura arenosa, superior a 89%, o que permite uma maior absorção de água no solo, alimentando os diversos rios existentes na área de estudo. São solos que vêm passando por um processo de usos intensos e fortes queimadas que ocorrem anualmente de junho a dezembro. No que se refere às análises química, esses solos para atingir a aptidão agrícola desejada, necessita de correções e aplicação de adubos para elevar o potencial do mesmo, fazendo o manejo adequado para evitar a arenização dos mesmos.

Esses usos têm influenciado nos atributos dos solos estudados, como também na dinâmica da paisagem da área de estudo. Diante da avaliação das mudanças nos usos da terra, observou-se que as classes que apresentaram maiores crescimentos foram as culturas anuais com o plantio de soja, os campos de pastagens, resultado das intensas extrações de madeira para a produção de carvão vegetal. Estes campos, após a retirada da cobertura vegetal, servem para

a criação de gado, pois estando descobertos, crescem as gramíneas nativas que servirão para o cultivo da bovinocultura.

Assim, considerando o aprendizado durante todo esse período de trabalho de gabinete, laboratório e de campo, espera-se que esse estudo contribua como aporte teórico para a comunidade científica, uma vez que as referências sobre o município de Santana do Maranhão ainda são insuficientes, em escala pouco detalhada, carecendo de mais pesquisas. Desse modo, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a análise dos impactos ambientais, capazes de identificar os níveis de degradação ambiental que veem sendo causadas com os avanços dos usos da terra no referido município, que sejam capazes de orientar planejamento territorial, educação ambiental, análises socioespaciais bem como promover políticas públicas conservacionistas.

Por fim, conclui que o relevo (plano à suave ondulado), além dos baixos preços das terras na região do MATOPIBA, tem influenciado a intensificação dos avanços dos usos da terra no município de Santana do Maranhão. Destaca-se que foi possível analisar a área de estudo o que trouxe consideradas percepções sobre as alterações na paisagem ao longo dos anos de 2020 à 2024. Desse modo, afirma-se que os objetivos propostos para esse estudo foram alcançados, constatando-se que os solos estudados apresentam limitações nos atributos químicos e físicos em razão dos intensos usos da terra nos quais estão inseridos.

REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N. *Bases para o estudo geomorfológico do Setentrião Oriental do Brasil*. Revista Brasileira de Geografia, 24 (2), 1–18, 1962.

AB’SÁBER, A. N. *Bases do estudo geomorfológico do Brasil*. Revista Brasileira de Geografia, 31(2), 1–45, 1969.

AB’SÁBER, A. N. Domínios morfoclimáticos e fitogeográficos do Brasil. *Geografia (USP)*, 33, 1-39, 1969.

AB’SÁBER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AB’SÁBER, A. N. Participação das correntes eólicas na modelagem das paisagens brasileiras. *Revista do Instituto Geográfico e Geológico*, 41, 3-17, 1969.

AB’SÁBER, Aziz Nacib. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 4. ed, São Paulo: Ateliê Editorial, 2007.

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p. 33-74.

Agência Senado. **500 mil mortes, doença, fome, desvio de verbas e pedido de CPI: o retrato da Grande Seca do Império**. Publicado em 01 de outubro de 2021. Disponível em: [//www12.senado.leg.br/noticias/especiais/arquivo-s/500-mil-mortes-doenca-fome-desvio-de-verbas-e-pedido-de-cpi-o-retrato-da-grande-seca-do-imperio](http://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/arquivo-s/500-mil-mortes-doenca-fome-desvio-de-verbas-e-pedido-de-cpi-o-retrato-da-grande-seca-do-imperio). Acesso em: 18 ago. 2024.

ALMEIDA, J. G.; MATTOS JUNIOR, J. S. de. A dinâmica da produção de soja no município de Brejo (MA) e seus reflexos na produção agrícola camponesa. **Revista Campo-Território**, Uberlândia, v. 11, n. 24 Ago., 2016. DOI: 10.14393/RCT112416. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/35280>. Acesso em: 22 ago. 2024.

ALVARENGA, R. C.; CLEMENTE, E. P.; CASTRO, A. A. D. N.; FREITAS, G. C.; BRAZ, J. L. Densidade e porosidade de um Latossolo Vermelho típico, submetido a diferentes usos e manejos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**: [resumos expandidos]. Porto Alegre: UFRGS: SBCS, 2007.

AMORIM, J. R. A. [*et al.*]. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe / Julio Roberto Araujo Amorim ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964. Washington, DC. 1976.

ANDRADE, M. C. de. Geografia : ciência da sociedade / Manuel Correia de Andrade. - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008.

ARAI, Mitsuru. A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo barreiras. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, Brasil, v. 6, n. 2, p. 1–6, 2006.

ARAÚJO FILHO, M. da C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 59, n. 2, 2007.

<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44902>. Acesso em: 29 jul. 2024.

ARAÚJO, E. P. de; LOPES, J. R. CARVALHO FILHO, R.: **Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense**. In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G.. (eds.). *Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação* / Organizado por Marlúcia Bonifácio Martins; Tadeu Gomes de Oliveira – Belém: MPEG, 2011.

ASSAD, Eduardo Delgado; SANO Edson Eyji. **Sistemas de informações geográficas: Aplicações na agricultura**. 2. edição revista e ampliada, Brasília-DF: EMBRAPA-SPI / EMBRAPA-CPAC, 2003.

BANDEIRA, I. C. N. Geodiversidade do estado do Maranhão / Organização Iris Celeste Nascimento. – Teresina : CPRM, 2013.

BARATA, S. T. **Paisagem e geografia**. Finisterra, v. 36, n. 72, p. 37-53, 2001.

BARBOSA, B. C. *et al.* **Unidades de Conservação no Brasil: um enfoque para a Região dos Cocais, no Leste Maranhense**. Research, Society and Development. 9. 2020.

BARBOSA, G. V.; PINTO, M. N. Geomorfologia. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam Folha SA. 23 São Luis e parte da folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973.

BARRELA, W.; PETRERE-JÚNIOR.,E.; SMITH, WS;MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, RR; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares** : conservação e recuperação. 2. ed. São Paulo, SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARROS e SILVA, M; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. (eds) : **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos : RCC do Maranhão** / Marlen Barros e Silva ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2020.

BARRETO, A. M. F. ; SUGUIO, K. MORFOLOGIA DAS PALEODUNAS DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO (BA) E OS PALEOVENTOS. 37º **Congresso Brasileiro de Geologia - SBG/SP**, São Paulo, SP, 1992.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO2. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.599-607, 2000.

BERNARDINO SANTOS DE MEDEIROS, D.; OLIVEIRA, A. M. de; DINIZ, M. T. M. Georges Bertrand e a Análise Integrada da Paisagem em Geografia. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 63–80, 2018.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTA, J. Avaliação da erodibilidade de Latossolos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1001-1010, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999. 335p.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico**. Cadernos de Ciências da Terra do Instituto de Geografia da USP, São Paulo, n. 13, 1972.

BEURLIN, K. *Sobre a estratigrafia e a paleontologia da Formação Barreiras no Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Geociências, v. 2, n. 3, 1967.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA**. Rio de Janeiro: 2011. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BIGARELLA, J. J. *Geomorfologia do Brasil*. Curitiba: Instituto de Geociências da UFPR, 1962.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. Part 1. American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. **A soja no Brasil: história e estatística** / Emídio Rizzo Bonato & Ana Lúcia Variani Bonato. Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1987.

BONETTI J. A.; ANGHINONI I.; MORAES, M. T., FINK, J. R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil Tillage Res.* 2017; 174:104-112. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198717301277>. Acesso em: 20 set. 2024.

BORGES, Ana Lúcia & SOUZA, Luciano da Silva. Calagem e adubação para a bananeira. In: BORGES, Ana Lúcia. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá** / Ana Lúcia Borges, editora técnica. – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2021.

BORGES, F. O.; FERREIRA, V. de O. Planícies de inundação e áreas inundáveis: análise comparativa dos conceitos mediante aplicação nas bacias hidrográficas do ribeirão Bom Jardim e rio das Pedras, Triângulo Mineiro. **Revista Cerrados**, [s. l.], v. 17, n. 01, p. 114–130, 2019. DOI: 10.22238/rc2448269220191701114130. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1027>. Acesso em: 22 set. 2024.

BOTELHO, Adielson Correia. **A expansão sojícola em territórios de produtores tradicionais na microrregião de Chapadinha Maranhão**. Revista Percorso NEMO Maringá, v. 9, n. 2, p. 05 20, 2017.

BOWES, J.A. **Engineering properties of soils and their measurements**. Third edition. McGraw-Hill Book Company, NY, 1986.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. Folha SA. 23 São Luís e parte da Folha SA. 24 fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973.

BRASIL. **LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 2º mai. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cerrado**, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/cerrado>>. 09 out. 2022.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. Meio Ambiente - **Desmatamento na Amazônia tem redução de 45,7%**. Publicado em 07 de agosto de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/08/desmatamento-na-amazonia-tem-reducao-de-45-7>. Acesso em 17 set. 2024.

BRAUN, O. P.: Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.32, n.3, p.3-39, 1971.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Fundamentos de Geoprocessamento**. INPE. Disponível em: <http://www.dpi.INPE.br/gilberto>. Acesso em: 29 de jun. 2006.

CAMARGO, O. A de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de **Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do (Boletim Técnico 106)**. Campinas, SP: IAC, 2009.

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**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, Marcelo Sampaio. “A expansão e os impactos da soja no Maranhão”. In: SCHLESINGER, Sergio et al. **Agricultura familiar da soja na região Sul e o monocultivo no Maranhão: duas faces do cultivo de soja no Brasil**. Rio de Janeiro: FASE, 2008. p. 77-146.

CASTRO, César de. [et al]. **Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja** / César de Castro... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2020.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. Geossistemas no estado de Alagoas: uma contribuição aos estudos da natureza em Geografia. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza; CORRÊA, Antônio Carlos de Barros. DA DESCRIÇÃO DE ÁREAS ÀS SÍNTESES NATURALISTAS: UMA ABORDAGEM

HISTORIOGRÁFICA SOBRE A IDEIA DE ‘ÁREAS NATURAIS’. **Revista Espaço e Geografia**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 377:422, 2022.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J. A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Ano VI – Número 11 – Garças/SP, Junho de 2007.

CENTENO, L. N. et al. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.4, n.1, p. 31-37. Pelotas – RS, 2017.
Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/article/view/11576>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geografia física: temas e problemas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.
cap. 3. p. 35-50

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 2ª. edição, 1980.
CLAVAL, P. **A Paisagem dos geógrafos**. CORRA, R. L.; ROSENDAHL, Z (org.).
Paisagens, textos e identidade. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2004.

COLLINSON, A. S. **Introduction to world vegetation**. 2 ed. London: Unwin Hyman Ltd., 1988. 325 p.

CONTI, José Bueno. **Geografia e paisagem**. Ciência e Natura, v. 36, n. 3, p. 239-245, 2014.

CORRÊA, W.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 32, n. 19, p. 517–543, 2023. DOI: 10.55761/abclima.v32i19.16727.
Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16727>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. **Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34;289-298, 1999.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 7, p. 1185- 1191, 2006.

COUTINHO, Cláudia Maria Arraes. Arquitetura deposicional e dinâmica evolutiva de cordões litorâneos sob influência de delta, Espírito Santo (ES), Brasil (Dissertação de Mestrado) / Cláudia Maria Arraes Coutinho, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

COUTINHO, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, p. 130-138, 1992. Volume especial Eco-Brasil.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, p. 1551-1554, 1988.

CRUZ, V.D.S; SANTOS. M.J.S.D. **A cultura da soja no maranhão: desafios e possibilidades para os produtores.** In. X SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e II SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO DO IFNMG, Campus Diamantina – MG, 2022.

Disponível em:

<https://eventos.ifnmg.edu.br/sic2022/236cfdbc76af5236acf98a4144a69ef68dc126d2.pdf>.

Acesso em:12 ago. 2024.

DALTIO, J.; CARVALHO, C. A. de,. Infraestrutura de Dados Espaciais do MATOPIBA. / Jaudete Daltio, SGTE; Carlos Alberto de Carvalho, CNPM. (**Embrapa. Nota Técnica GITE, 4**). Campinas: Embrapa, 2014.

DANTAS, M. E. Biblioteca de padrões de relevo: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação. Rio de Janeiro: CPRM, 2016

DANTAS, M. E.; SANDER, A. JACQUES, P. (Org.) : Visão panorâmica de Geomorfologia do Brasil: um guia para professor / Organizadores Marcelo Eduardo Danta, Andrea Sander, Patrícia Jacques. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2023.

DEMATTE, J. A. M.; SOUZA, A. B.; FERNANDES, E. R. Caracterização mineralógica de Latossolos Amarelos e sua relação com a erodibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 183-192, 2004.

DUMAS, J. Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cahiers Orstom, Paris, v. 3, n. 4, p. 307-333, 1965.

EDUARDO, E. N. *et al.*: Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 796–803, maio 2013.

EITEN, G. Delimitação do conceito de cerrado. **Arquivos do Jardim Botânico**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 125-134, 1977.

EI-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, 30., West Lafayette. Proceedings... Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1977. p. 105-114.

ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; LOVATO, T. **Apostila de manejo e conservação do solo**. Santa Maria, 2005. 102 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Sobre o Matopiba**, (s.d.). Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>. Acesso em 20 mar. 2024.

ESPINOZA GARRIDO, W.; AZEVEDO, L. G. de; JARRETA JUNIOR, M. **O clima da região dos Cerrados em relação a agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Geoprocessamento de Dados Espaciais para a Análise de Áreas com Potencial Agrícola no Município de Dona Francisca – RS. In: LADWIG N. I. **Geoprocessamento na análise ambiental [recurso eletrônico]** / Nilzo Ivo Ladwig... [et al.], organizadores. - Criciúma, SC: UNESC, 2020.

FEITOSA, M. M.; SOUSA, E. C.; NASCIMENTO, L.; LEMOS, J. J. S. A soja no estado do Maranhão, Brasil: uma análise temporal da expansão e substituição das culturas alimentares. **Geografares**, Vitória, Brasil, v. 3, n. 37, p. 114–131, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/40394>. Acesso em: 14 ago. 2024.

FERREIRA, C. P.; CRAVO, M da S.; FERREIRA, E. V. de O.: Fertilizantes minerais. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. de J. M.: **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará** / editores técnicos – Edilson Carvalho Brasil, Manoel da Silva Cravo, Ismael de Jesus Matos Viégas. e. – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2020.

FERREIRA, Vitória Gleyce Sousa. **Atributos químicos e físicos do solo diante dos usos da terra na Microrregião de Caxias - MA**. Dissertação (Curso de Geografia), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA, 2023.

FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. Oficina de Texto. São Paulo, 2002. 97p

FONSECA, M. de J. B. **Evolução do uso da terra e problemas ambientais na área da bacia do rio Paciência: 1976 a 1995**. Monografia de Especialização. São Luís, 2001.

FONSECA, N. & BORGES, A. L. Calagem e adubação para a mangueira. In: BORGES, Ana Lúcia. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá** / Ana Lúcia Borges, editora técnica. – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2021.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP** / Melina Fushimi. - Presidente Prudente : [s.n], 2012. 141 f.

GASPAR, R. B.; PAULA ANDRADE, M. de. Gaúchos no Maranhão: agentes, posições sociais e trajetórias em novas fronteiras do agronegócio. **Revista Pós Ciências Sociais**, v. 11, n. 22, 28 Abr 2015 Disponível em:
<https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/rpcsoc/article/view/3417>. Acesso em: 22 ago. 2024.

GASPAR, Rafael Bezerra. **O eldorado dos gaúchos: Deslocamento de agricultores do Sul do país e seu estabelecimento no Leste Maranhense** (Dissertação) / Rafael Bezerra Gaspar. – São Luís, 2010.

GASPAR, Rafael Bezerra. **Os gaúchos do agronegócio no Leste Maranhense: estabelecimento e estratégias de reprodução** / Rafael Bezerra Gaspar. – (Tese (doutorado) – Rio de Janeiro, 2018.

GIANNINI, P. C. F.: **DUNAS E PALEODUNAS EÓLICAS COSTEIRAS E INTERIORES**. In: SOUZA, C. R. G. (ed.) : **Quaternário do Brasil** / editores, Celia Regina de Gouveia Souza, Kenitiro Suguio, Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Paulo Eduardo De Oliveira.-- Ribeirão Preto : Holos, Editora, 2005. 382p.

GLENNIE, K.W. 1970. Desert sedimentary environments. Developments in sedimentology. Elsevier, Amsterdam, 222 p.

GOMES, F. A. L. O IBAMA e a ação político institucional na implementação do Comitê da Microbacia Hidrográfica do Rio Magu, APA do Delta do Parnaíba. In: SELBACH, J. F.; LEITE, J. R. de S. de A. (orgs.). **Meio ambiente no Baixo Parnaíba: olhos no mundo, pés na região**. Parnaíba/PI: Instituto Biodiversidade do Delta - IBD; São Luis/MA: EDUFMA, 2008, 227p

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2011, p. 139-156.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M.. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Anuário IGEO. v,19. 1996. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/6168>. Acesso em: 06 out.2024.

GUERRA, A. T. (1924-1968) **Dicionário geológico-geomorfológico** / Antonio Teixeira Guerra – 8. ed. – Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic, 1980. 413 p.

HISSAS, C. E. V. **Entrenotas : compreensões de pesquisa** / Cássio Eduardo Viana Hissa. – Belo Horizonte : Editora UFMG, 2013. 197 p.

HYMOWITZ, T. **On the domestication of the soybean**. **Economic Botany**, 24:408-21, 1970.
Instituto Brasileiro de Geografia – IBGE. **Manual técnico de pedologia** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2015. 430 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA), 2023. Geomorfologia. Disponível em:
<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em 12 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Biomas, 2024.
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?t=downloads>. Acesso em 03 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidade**: Santana do Maranhão Panorama. Rio de Janeiro, [2023]. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/santana-do-maranhao/panorama>. Acesso em: 19 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, v.1, t.1, Rio de Janeiro, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de pedologia** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª Ed., Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Maranhão: Território**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/panorama>. Acesso em 08 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Solos_5000mil, 2018. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/brasil_5000_mil/. Acesso em 05 mar. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão : diretrizes gerais para a ordenação territorial, Salvador. IBGE, Divisão de Geociências da Bahia, 1997. 44p.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC: ENCICLOPÉDIA DOS MUNICÍPIOS MARANHENSES REGIÃO DE DESENVOLVIMENTO DO DELTA DAS AMÉRICAS. VOLUME 10, São Luís/MA, 2024.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC. Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA): meio físico-biótico – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. 2. ed. v.1 / Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias... [et al.] (Orgs). São Luís: IMESC, 2021.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; & ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Goiânia, 2005, p. 2203-2210.

KER, J. C. **Latossolos do Brasil: uma revisão**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 117–122, 1997.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. **Uso do milho como planta forrageira**. ARMINDO NEIVO KICHEL, CNPGC; CESAR HERACLIDES BEHLING MIRANDA, CNPGC. Campo Grande, MS: **Embrapa Gado de Corte**, 2000.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia : relações solo - planta.** / Edmar José Kiehl.
São Paulo, SP : Ceres, 1979. 262 p.

KING, L. C. *Canons of landscape evolution*. Geological Society of America Bulletin, 64(7), 721–752, 1953.

KING, L. C. *South African Scenery: A Textbook of Geomorphology*. London: Oliver and Boyd, 1956.

KLEIN, E.L; SOUSA, C.S (Org.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão:** Sistema de Informações Geográficas – SIG, Escala 1:750.000. Belém: CPRM. 2012.

KNUPP, S.N.R.; BORBUREMA, C.C., OLIVEIRA NETO, T.S.; MEDEIROS, R.; KNUPP L.S., RIET-CORREA, F. & LUCENA, R.B. 2014. Surtos de fotossensibilização primária em equídeos causados por *Froelichia humboldtiana*. *Pesq. Vet. Bras.* 34 (12):1191-1195.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-736X2014001200008>.

LAL, R.; KIMBLE, J.M. Conservation tillage for carbono sequestration. **Nutrition Cycling in Agrosystems**, Amsterdam, v.49, p.243-253, 1997.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia** / Igo F. Lepsch. – São Paulo : Oficina de Textos, 2011.

LISBOA, Gilberlene Serra. **Processos erosivos por voçorocamento em linha de transmissão de energia no Município de São Luís – MA** / Gilberlene Serra Lisboa.— São Luís, 2018.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F; MAGUIRE, D. J; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 3 ed. 2013.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrados:** características, propriedades e manejo. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162 p.

LOPES, L. G. N.; SILVA, A. G; GOULART, A. C. O (2014): **Novos caminhos na análise integrada da paisagem: abordagem geossistêmica**. *Natureza online* 12 (4): 156-159.

LÜWE, J.I. & WALKER, M.J.C. 1984. Reconstructing Quaternary environments, Longman Group u e., 389 p.

LUZ, M. J. da S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. **Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 31 p.

MABESOONE, J.M. *Geologia do Nordeste Brasileiro*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 1980.

MACEDO, M.C., BEZERRA M.B. & SOTO-BLANCO B. 2006. Fotossensibilização em animais de produção na região semi-árida do Rio Grande do Norte. *Arqs Inst. Biológico*, São Paulo, 73:251-254.

MAIA, R. P.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L. Dinâmica das dunas costeiras fixas no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(1), 13-25, 2005.

MARTHA JÚNIOR, Geraldo Bueno. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens** / editores técnicos Geraldo Bueno Martha Júnior, Lourival Vilela, Djalma Martinhão Gomes de Sousa. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

MARTINS, C. E. **Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005.

MERTEN, G. H.; REIS, E. L.; COOPER, M. Avaliação da erosão em Neossolos Quartzarênicos sob diferentes condições de manejo. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 271-281, 2016.

MEURER, E. J. (editor). *Fundamentos de Química do Solo*. 6ª. Ed. / Egon José Meurer, Editor. Porto Alegre: 2017.

MIGUEL, Paulo Sérgio Balbino et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 13-29, abr. 2016.

MELTON, F.A. 1940. A lenta tive classification of sand dunes its application to dune history in the southern High Plains. *Journal of Geology*, 2(48), p. 113-145.

MINSEN, G. **A soja**. Revista Agrícola do Rio Grande do Sul, Pelotas, 5(1) :2-4, 1901.

MIRANDA, E. E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. 18 (Embrapa. Nota Técnica GITE, 1).

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Os Geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, v. 04, n. 09. Florianópolis, 1996.

MORGAN, R.P.C. *Soil erosion and conservation*. Ed. Longman, England, 1995.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo** / Edgar Morin : tradução Eliane Lisboa. 5.ed. - Porto Alegre : Sulina, 2015. 120 p.

MORSE, W.J. History of soybean production. In: MARKLEY, K. S. **Soybeansand soybean products**. New York, Interscience. 1950. p.3-59.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422 p.

NOVAIS, R. F. [et al.]. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007. 1017 p.

NUNES, F. C. Grupo Barreiras : características, gênese e evidências de neotectonismo / Fabio Carvalho Nunes e Enio Fraga da Silva. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 31 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 194).

OLIVEIRA, J. D.; SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B. **Impacto do uso e ocupação da terra na cobertura pedológica de Neossolo Quartzarênico órtico típico na cabeceira de drenagem do rio Branco**. Revista Geoaraguaia. v.13, n.Esp. Cad. n.1. Jul -2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/15468/12440>. Acesso em: 05 out. 2024.

OLIVEIRA, L. A.; FERREIRA, T. O.; BARBOSA, R. M. Suscetibilidade à erosão em solos arenosos do Cerrado. **Geociências**, v. 30, n. 4, p. 497-505, 2011.

PAIXÃO, F. J. R; et al. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande/PB, v.5, nº 1, p. 2-12, 2004.

PASSOS, M. M. A Raia Divisória: geossistema, paisagem e eco-história. v. 1. Maringá: Eduem, 2006.

PASSOS, M. M. dos.: Biogeografia e paisagem / Messias Modesto dos Passos. –2. ed. – Maringá : [s.n], 2003.

PAULA ANDRADE, Maristela. (1995a) Produção de Carvão vegetal e o plantio de eucalipto no leste maranhense. In: **Carajás: desenvolvimento ou destruição? Relatórios de Pesquisa**. São Luis: CPT, p. 15-66.

PEDROTTI, A.; [et al.]. Causas e consequências do processo de salinização do solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.] , v. 2, pág. 1308–1324, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16544>. Acesso em: 14 jul. 2025.

PEREIRA, B. C. RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM E SUA APLICABILIDADE: Uma ferramenta fundamental para o entendimento da caracterização da paisagem. **Cadernos Do Leste**, Belo Horizonte, Jan.-Dez. Vol.20, nº20, 2020.

PEREIRA, E. D. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã – São Luís (MA). Tese (Doutorado) Rio Claro: UNESP. 2006.

PEREIRA, J. S. & RODRIGUES, S. C. **Erosão por voçorocas: estado da arte**. In: Carvalho Júnior, A. de. et al. Revisões de literatura da geomorfologia brasileira [recurso eletrônico] / organizadores Osmar Abílio de Carvalho Júnior ... [et al.]. – Brasília : Universidade de Brasília, 2022.

PES, L. Z.: **Conservação do solo** / Luciano Zucuni Pes, Diego Antonio Giacomini. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico ; Rede e-Tec Brasil, 2017.

PIMENTEL L.A.; RIET-CORREA, F.; GUEDES, K.M.; MACÊDO, J.T.S.A.; MEDEIROS R.M.T. & DANTAS, A.F.M. 2007. Fotossensibilização primária em equídeos e ruminantes no semi-árido causada por *Froelichia humboldtiana* (*Amaranthaceae*). *Pesq. Vet. Bras.* 27(1):23-28.

PINHEIRO, A.; TEXEIRA, L.P.; KAUFMANN, V. Capacidade de Infiltração de água em solo sob diferentes usos e práticas de manejo agrícolas. *Ambi-Agua*. Taubaté (SP), v. 4 n.2, p. 188-199, 2009.

PINHEIRO, L. E. R.; et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 2011, v. 41, n. 1. p. 20-28. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8459>. Acesso em: 22 de set. 2024.

PIPER, C.V. & MORSE, W. J. The soybean. New York, McGraw Hill, 1923. 320p.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p.

PRADO JÚNIOR, C. (1907-1990): **História econômica do Brasil** / Caio Prado Júnior. 26. ed. São Paulo: Brasiliense, 1981.

PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais / organizado por Rachel Bardy Prado, Ana Paula Dias Turetta e Aluísio Granato de Andrade – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

PREZOTTI, L. C. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar** / Luiz Carlos Prezotti; André Guarçoni Martins – Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.

Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.23 – São Luís; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

QUARESMA, M. de N.; SILVA, C. N. da.: **Análise integrada da paisagem pela perspectiva conceitual da paisagem de exceção: uma revisão sistemática da literatura.** Revista Brasileira de Geografia Física, [S.l.], v. 15, n. 6, p. 2878-2902, dez. 2022. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/253345>. Acesso em: 06 jul. 2023.

RAIJ, B. V. [et al]. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Editado por Bernardo Van Raij, J.C. de Andrade, H. Cantarella e J.A. Quaggio. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REATTO, A. [et al.] : **Solos do Bioma Cerrado: Aspectos pedológicos.** In. SANO *et al.* **Cerrado: ecologia e flora** / editores técnicos, Sueli Matiko Sano, Semíramis Pedrosa de Almeida, José Felipe Ribeiro, Embrapa Cerrados. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

REETZ, H. F. Fertilizantes e o seu uso eficiente / Haroldo F. Reetz, Jr; Tradução : Alfredo Schid Lopes. – São Paulo : ANDA, 2017. 178 p.

REIS, C. S. dos; CONCEIÇÃO, G. M. da: Aspectos Florísticos de um Fragmento de Vegetação, localizado no Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 6, n. 2, 2010. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/21>. Acesso em: 9 out. 2022.

RIBEIRO, M. R. [et al.]. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In.: Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed. Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2 v., 2008. p. 151-212.

RIBEIRO, K. D. *et al.*. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167–1175, jul. 2006.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 14, p. 69-77, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2001.0014.0007. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47314>. Acesso em: 4 jul. 2023.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. *Revista do Departamento de Geografia. USP.* 14, 2001, p. 69-77.

RODRIGUES, R. A. S. **Ciência do solo : morfologia e gênese** / Renato Augusto Soares Rodrigues. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 264 p.

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais** / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais** / Carlos Cesar Ronquim. - 2.ed. - Campinas: Embrapa Territorial, 2020.

ROSA, R. Introdução ao **sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 7 ed, 2009.

ROSOLEM, N. P.; ARCHELA, S. R.. **GEOSSISTEMA, TERRITÓRIO E PAISAGEM COMO MÉTODO DE ANÁLISE GEOGRÁFICA** / Nathália Prado Rosolém & Rosely Sampaio Archela. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física - II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física : Universidade de Coimbra, Maio de 2010. Disponível em: <https://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema1/nathalia>. Acesso em: 17 out. 2022.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia Ambiente, Planejamento*. Editora Contexto, São Paulo, 2005.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto, 1992.

ROSS, J.L.S. *Geomorfologia do Brasil*. São Paulo: Edusp, 2006.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. Oficina de textos, São Paulo, 2006.

SÁ, A. A. S. de.; OLIVEIRA, G. H. de, SILVA, R. P. da; ASSIS, V. C. S. S. de., OLIVEIRA, C. da S. de ., OLIVEIRA, J. A. de ., ...BERTI, M. P. da S. (2024). A importância do cálcio para a nutrição de plantas: uma revisão. *Scientific Electronic Archives*, 17(2).

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2 v., 2008. p. 151-212.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 54, n.1, p.86-94, 2002.

SANTOS, B. S. **Um discurso sobre as ciências**. São Paulo: Cortez, 2008.

SANTOS, F. B. dos; ARRAIS NETO, C A.; FERREIRA, L. A. A expansão da soja no maranhão e algumas consequências socioambientais: questões preliminares (1990-2005). In. **IV Jornada Internacional de Políticas Públicas, de 25 a 28 de agosto de 2009**. Disponível em: https://www.joinpp.ufma.br/jornadas/joinppIV/eixos/8_agricultura/a-expansao-da-soja-

no-maranhao-e-algumas-consequencias-socio-ambientais-questoes-preliminares-.pdf. Acesso em: 26 abr. 2024.

SANTOS, H. G. dos.... [et al.]. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018.

SANTOS, J. H. S.; SILVA, J. X. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa, MG. **Resumos Expandidos...** Viçosa, MG: [s.n.], 2009. v. 1, p. 1-17

SANTOS, J.H.S. dos.; SILVA, J.X. da. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 1-17.

SANTOS, Lima; GIRÃO, C. A teoria geossistêmica na pesquisa geomorfológica: uma abordagem teórico-conceitual. **Revista Geográfica De América Central**, 2(55), 49-65.

SANTOS, Milton (1926-2001). **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção** / Milton Santos. - 4. ed. 2. reimpr. - São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, Milton. **METAMORFOSES DO ESPAÇO HABITADO, fundamentos Teórico e metodológico da geografia**. Hucitec. São Paulo, 1988.

SEABRA, V.; CRUZ, C. M.. **Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João, RJ**. Revista Sociedade & Natureza. v.25, n.2. 2013.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sn/a/Lf5zmjytjz6zRNHBSsx3sYj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 out. 2024.

SENA, C. C. R. [et al.] :ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DO CERRADO. **Revista Agrotecnologia, Ipameri, v.12, n.1, p.80-91, 2021**. Disponível em:

<https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/10737>. Acesso em: 15 set. 2024.

SILVA JUNIOR, A. G. da. **O sistema eólico das bacias costeiras de São Luís e Barreirinhas, NE do Brasil: implicações climáticas e tectônicas durante o Quaternário.** Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira; Coorientadora: Anja Sundal. 2021. 52 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/14185>. Acesso em 09 set. 2024.

SILVA, A. J. de P. & PASQUALETTO, A. Análise da Voçoroca na Cabeceira do Córrego Grota, no Município de Joviânia – GO. Monografia (Graduação). Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2007.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, R. A.; MENDES, W. F. Textura do solo e erosão em áreas de Neossolos Quartzarênicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, p. 205-219, 2015.

SILVA, C. C. B. da : **Surto de fotossensibilização primária por consumo de froelichia huboldtiatana em ruminantes e equídeos no município de Assú rio grande do norte.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Medicina Veterinária) – Universidade Federal da Paraíba. Areia (PB), 2016

SILVA, E. N.: **Conhecimento local: saberes e práticas camponesas no cultivo da mandioca – o caso de Vertente, Santa Quitéria do Maranhão.** Monografia (Curso de Ciências Sociais). Centro de Ciências Humanas. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2014.

SILVA, F. L.; SMITH, W.S.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JÚNIOR., I. Usos e cobertura da terra e a sua relação com a naturalidade de paisagens culturais: o caso de Sorocaba (SP). **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, e35, p. 1–13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X38708>. Acesso em: 20, mai. 2024.

SILVA, J. X da; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão** / Quésia Duarte da Silva. – Presidente Prudente : [s.n], 2012

SILVA, S. B. e. **Análise de Solos Para Ciências Agrárias** / Sérgio Brazão e Silva. 2. ed. - Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SMITH, P. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. **European Journal Soil Science**, New Jersey, v.20, p.229-236, 2004.

SOBRAL, L. F. [*et al.*]. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos** / Lafayette Franco Sobral ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

SOCHAVA, V.B. Algumas noções e termos da Geografia Física. **Relatórios do instituto de Geografia da Sibéria e do Extremo Oriente**. 3. 1963. p.53.

_____ Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. – [s. l.] : Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016.

SOTCHAVA, V. B. **Métodos em Questão: o estudo dos geossistemas**. São Paulo: IGUSP, 1977. v. 6. p. 51.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado**. / DJALMA MARTINHAO GOMES DE SOUSA, CPAC; THOMAZ ADOLPHO REIN, CPAC; JOAO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JR, CPAC. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016.

SOUSA, D. M. G. de; VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Correção e adubação do solo para culturas anuais na integração lavoura-pecuária. In: MARTHA JÚNIOR, G. B. VILELA, L. SOUSA, D. M. G. de. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens** / editores técnicos Geraldo Bueno Martha Júnior, Lourival Vilela, Djalma Martinhão Gomes de Sousa. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

SOUZA, C. Y. V. de; PEREIRA, F. S. G. Geografia: relações científicas e análise de Métodos. **Revista Cerrados**, v. 15, n. 02, p. 347–367, 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1320>. Acesso em: 16 mar. 2024.

SOUZA, Ivonete Gonçalves de.: **Plantações de eucalipto para energia: O caso da Suzano no Baixo Parnaíba, Maranhão, Brasil** / Ivonete Gonçalves de Souza (CEPEDES) e Winfridus Overbeek (WRM), 2013. Disponível em: https://www.wrm.org.uy//pt/files/2014/01/Plantacoes_de_eucalipto_para_energia_O_Caso_da_Suzano.pdf. Acesso em 20 ago. 2024.

SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M, A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia** (Chile), v.30, n. 1. p. 7-15, 2012.

SOUZA, Reginaldo José de. Raia Divisória ou Raia Socioambiental? : uma redefinição baseada na análise da paisagem através do sistema GTP / Reginaldo José de Souza. Presidente Prudente : [s.n.], 2015

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Geografia física e geomorfologia: uma releitura** / Dirce Maria Antunes Suertegaray – Porto Alegre : Compasso Lugar Cultura, 2018.

SUGUIO, K., KOHLER, H. C., & BARRETO, A. M. F. *Ensaio de caracterização e correlação das formações quaternárias do litoral brasileiro*. Revista Brasileira de Geociências, 15(3), 183–189, 1985.

SUGUIO, K., MARTIN, L. *Quaternary marine formations of the State of São Paulo and southern Rio de Janeiro (Brazil)*. São Paulo: Instituto Geológico, 1996.

SUGUIO, K.. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1993

SUGUIO, Kenitiro e NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. **Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a formação (ou Grupo?) Barreiras do neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais.**

Geociências, v. 18, n. 2, p. 461-479, 1999 Tradução. Disponível em:
<https://repositorio.usp.br/directbitstream/57d2a582-7ae1-4642-a928-269ce9c6c19a/1189413.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2025.

TEXEIRA, Paulo César [et al.]. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

TORRES, J. L. R. *et al.* O estado da arte do sistema plantio direto no cerrado. In: MARTINS, André Guarçoni *et al.* (org.). **Manejo do solo em sistemas integrados de produção** / Organizadores André Guarçoni Martins, Araújo Hulmann Batista, Beno Wendling, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

TRAVASSO, L.E. P.; FILHOS, O. E. A. A percepção geográfica da paisagem cárstica como instrumento de preservação / Luiz Eduardo Panisset Travassos e Oswaldo Bueno Amorim Filho REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA. Volume 1 - Número 1 – 2001

TRIBUZI, B. **Formação econômica do Maranhão: uma proposta de desenvolvimento** / Bandeira Tribuzi – Coordenação editorial de Lino Raposo Moreira – 2. ed. – São Luís: Conselho Regional de Economia do Maranhão, 2011.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. *Introdução à geografia física*. São Paulo: Edusp, 1972.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1977

TROPPEMAIR, H. Biogeografia e Meio Ambiente. 6. ed. Rio Claro: Divisa, 2004.

VASCONCELOS, A.M., *et al.* (2004). Folha SA.23-São Luís. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B., Jesus, J.D.A de. (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília, 2004.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. São Luís NE/SE, Folhas SA.23-X e SA.23-Z. Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500.000. / Organizado por José Pessoa Veiga Júnior. – Brasília: CPRM, 2000.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do município de Macaé – RJ. In: XAVIER-DA SILVA, J.; ZAIDANR. T. (Orgs.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

VELOSO, C. A. C.; BOTELHO, S. M.; RODRIGUES, J. E. L. F.; SILVA, A. R.: Correção da acidez do solo. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. de J. M.:

Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará / editores técnicos – Edilson Carvalho Brasil, Manoel da Silva Cravo, Ismael de Jesus Matos Viégas. e. – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2020.

VELOSO, C. A. C. *et al.* Correção da acidez do solo / Carlos Alberto Costa Veloso, Sônia Maria Botelho, João Elias Lopes Fernandes Rodrigues, Arystides Resende Silva. In: BRASIL, E. C. *et al.* **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará** / editores técnicos, Edilson Carvalho Brasil, Manoel da Silva Cravo, Ismael de Jesus Matos Viégas. e. – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2020.

VENTURI, L. A. B. **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula.** / Luis Antonio Bittar Venturi (Organizador). Editora Sarandi, São Paulo, 2010.

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. Rio Claro: **Revista Geografia**, v. 28, n.3, p. 323-344, set/dez.2003.

VILAS BÔAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. The Barreiras Group in the Northeastern coast of State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes. An. Acad. Bras. Ciênc. v. 73 n° 3, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/3209/1/v73n3a10.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2025.

VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).
VIVEIROS, J. de. História do comércio no Maranhão. São Luís: Associação Comercial do Maranhão, 1954. v. 3.

WILSON, L. G. 1972. Aeolian bedforms. their developrnents and origins. *Sed imentology*, 19(2), p. 173-210.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 33, n. 1, p. 131-137, jan./fev. 1969.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).

XAVIER, Francisco Alisson da Silva. Solo - definição e importância. *In*: BORGES, Ana Lúcia (Org.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. 2.ed. Brasília, DF: EMBRAPA.2021.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO- ZEE.
Uso, Ocupação e Cobertura da Terra- Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (Relatório Técnico). *In*: FERREIRA, Antônio José de Araújo; DIAS, Luiz Jorge Bezerra da Silva (Org.). São Luís, MA: IMESC. 2021.