

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

PAULA RAMOS DE SOUSA

**ANÁLISE DE ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESSOS EROSIVOS NO BAIXO
CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL, ILHA DO MARANHÃO**

**SÃO LUÍS
2018**

PAULA RAMOS DE SOUSA

**ANÁLISE DE ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESSOS EROSIVOS NO BAIXO
CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL, ILHA DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Quésia Duarte da Silva.

**SÃO LUÍS
2018**

Sousa, Paula Ramos de.

Análise de áreas degradadas por processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, Ilha do Maranhão / Paula Ramos de Sousa. – São Luís, 2018.

161 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva.

1. Degradação do solo. 2. Feições erosivas. 3. Erodibilidade.

I. Título.

CDU 631.459(812.1)

PAULA RAMOS DE SOUSA

**ANÁLISE DE ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESSOS EROSIVOS NO BAIXO
CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL, ILHA DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada com distinção em: 22/10/2018.

BANCA EXAMINADORA


Dr. JOÃO OSVALDO RODRIGUES NUNES, UNESP

Examinador Externo à Instituição


JOSE FERNANDO RODRIGUES BEZERRA, UEMA

Examinador Interno


QUÉSIA DUARTE DA SILVA, UEMA

Presidente

Dedico este trabalho aos meus familiares pelo apoio e amor incondicional. E a todos que contribuíram de alguma forma para a sua realização.

AGRADECIMENTOS

Muitas coisas a dizer e muito a quem agradecer, mas enfim compreendo que para tudo há uma explicação e chegar até aqui particularmente foi um grande desafio que envolveu muitas questões pessoais.

Agradeço a Deus em primeiro lugar pela força espiritual para superar os obstáculos.

Aos meus pais, Lourdes e Benedito, e queridos irmãos, Roberta e Alexandre, ao amor, convivência e apoio em todos os momentos.

À minha filha amada, Ana Clara, por compreender e apoiar minhas escolhas.

Ao meu grande amor e companheiro, Hugo, por quem tenho o prazer de dividir meus projetos e conquistas diárias.

A minha orientadora Professora Doutora Quésia Duarte, a quem tenho imensa gratidão por me acompanhar nesta trajetória e ser extremamente atenciosa em todas as etapas da pesquisa.

Ao professor Doutor José Fernando, por suas grandes contribuições para o trabalho e oportunidade de inserção na pesquisa acadêmica desde período de estágio no bacharelado.

Ao Professor Doutor João Osvaldo por aceitar fazer parte da banca examinadora e pelas valiosas orientações.

A professora Doutora Melina Fushimi pela gentileza e auxílio dado na fase final da pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia por me proporcionar um dos melhores períodos da minha vida acadêmica, lembrando que este mestrado é fruto de muito trabalho de uma equipe de professores extremamente dedicados.

À Nana, secretária do Programa de Pós-graduação em Geografia, sempre atenciosa.

Aos queridos amigos do Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP em especial Cristiane Mouzinho, Danyella França, Estevânia Teixeira e Ricardo Santana, agradeço a todos imensamente pela ajuda nos diversos momentos, lembrando que muitos não foram fáceis, mas a maioria deles repletos de muito bom humor!

Ao laboratório de Geociências do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão pelo apoio dos técnicos responsáveis Ivan Lima e Ricardo Santana que arduamente ajudaram na concepção das análises, lembrando também a valiosa colaboração dos voluntários nos trabalhos de campo.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo, sem ela o caminho percorrido seria mais difícil.

“Os hábitos humanos, a população, e a tecnologia atingiram um estágio onde a Mãe Terra não aceita mais nossa presença com silêncio” (DALAI LAMA).

RESUMO

A erosão dos solos é um dos principais tipos de degradação de terras, tanto em áreas rurais como urbanas. É um processo que está intimamente relacionado às características do próprio ambiente natural, porém tem sido intensificado através das atividades humanas. A bacia hidrográfica do rio Anil é amplamente urbanizada apresentando atributos naturais que contribuem para a degradação do solo desta área. Está localizada no quadrante noroeste da Ilha do Maranhão, totalmente inserida nos limites do município de São Luís, possuindo aproximadamente 13,8 km de extensão. A área objeto de estudo faz parte desta bacia e se concentra no seu baixo curso com uma área de 23,26 km². A pesquisa consistiu em analisar os processos erosivos lineares e os fatores que contribuem para a degradação do solo no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil em São Luís - MA. Os procedimentos utilizados consistiram em pesquisa de campo para levantamento de informações, coleta de amostras de solo do tipo volumétricas e deformadas; análise laboratorial das propriedades físicas dos solos que envolveram produção de dados sobre a textura, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total das amostras coletadas; elaboração de mapas temáticos por meio de técnicas de geoprocessamento. Todos esses instrumentos de pesquisa foram fundamentais na avaliação dos parâmetros de erodibilidade, considerando que na Ilha do Maranhão os solos são altamente friáveis e inconsolidados, indicando tendência a uma fragilidade natural. Os resultados mostraram que a área apresenta geologicamente características de sedimentos inconsolidados do Grupo Barreiras e Formação Açuí. Quanto à geomorfologia foram identificados e mapeados os tabuleiros com topos planos, as colinas esparsas, planície fluvial e planície de maré. A análise granulométrica revelou uma quantidade elevada da fração Areia total e predomínio da classe textural Areia; quanto à densidade do solo e de partículas verificou-se a compactação dos solos e reduzidos percentuais de porosidade total devido à baixa cobertura vegetal; os testes de infiltração revelaram um regime estacionário dos fluxos de infiltração da água o que indica uma rápida saturação do solo contribuindo para o processo de escoamento superficial. A elaboração do esboço simplificado das classes de solos em conjunto com a análise de aspectos geomorfológicos e descrição morfológica da área contribuiu para a caracterização dos solos e indicou a ocorrência de solos rasos e rasos a desenvolvidos nos pontos de coleta. As feições erosivas ocorrem predominantemente em áreas de solo exposto e de textura arenosa, com presença de colinas esparsas, vertentes retilíneas, e nas classes de declividades que configuram uma tipologia de relevo que variam de plano a ondulado. O avanço do desmatamento tem contribuído para exposição do solo e aceleração dos processos erosivos lineares. Além dos aspectos relacionados à suscetibilidade natural da área aos fatores condicionantes dos processos erosivos a componente antrópica e com ela a inserção de materiais tecnogênicos na paisagem sugere uma ineficiência do poder público no disciplinamento do uso e ocupação do solo. Considera-se, portanto que os estudos com abordagens ambientais em áreas urbanas e a compreensão dos impactos decorrentes destas ações sem planejamento adequado são essenciais para a gestão de áreas degradadas.

Palavras-chave: Degradação do Solo. Feições Erosivas. Erodibilidade.

ABSTRACT

Soil erosion is one of the main types of land degradation in both rural and urban areas. It is a process that is closely related to the characteristics of the natural environment itself, but has been intensified through human activities. The water catchment area of the Anil river is extensively urbanized, presenting natural attributes that contribute to the degradation of the soil of this area. It is located in the northwest quadrant of the Island of Maranhão, totally inserted in the limits of the municipality of São Luís, possessing approximately 13,8 km of extension. The study area is part of this basin and focuses on its low course with an area of 23.26 km². The research consisted of analyzing the linear erosive processes and the factors that contribute to the soil degradation in the low - water course of the Anil river basin in. The procedures used consisted of field research for information gathering, soil sample collection of the volumetric and deformed type; laboratory analysis of the physical properties of the soils that involved data production on the texture, soil density, particle density and total porosity of the samples collected; elaboration of thematic maps through geoprocessing techniques. All these research instruments were fundamental in the evaluation of the erodibility parameters, considering that in the Island of Maranhão the soils are highly friable and incoherent, indicating the tendency of a natural fragility. The results showed that the area presents geologically the characteristics of unconsolidated sediments of the Barreiras Group and Açuí Formation. As for geomorphology, trays with flat tops, sparse hills, fluvial plain and tidal plain were identified and mapped. The granulometric analysis revealed a high amount of the total sand fraction and predominance of sandy texture; soil and particle density showed a high degree of soil compaction and reduced percentages of total porosity due to low vegetation cover; the infiltration tests revealed a steady flow regime of water infiltration which indicates a rapid saturation of the soil contributing to the surface runoff process. The elaboration of the simplified sketch of the soil classes together with the analysis of geomorphological aspects and morphological description of the area contributed to the characterization of the soils and indicated the occurrence of shallow and shallow soils developed at the collection points. Erosive features occur predominantly in areas of exposed soil and sandy texture, with sparse hillsides, rectilinear slopes, and in slope classes that represent a typology of relief that varies from plane to wave. The advance of deforestation has contributed to soil exposure and acceleration of linear erosive processes. Besides the aspects related to the natural susceptibility of the area to the conditioning factors of the erosive processes, the anthropic component and with it the insertion of technogenic materials in the landscape suggests an inefficiency of the public power in the discipline of the use and occupation of the soil. It is therefore considered that studies with environmental approaches in urban areas and the understanding of the impacts resulting from these actions without adequate planning are essential for the management of degraded areas.

Keywords: Degradation of the Soil. Erosive Features. Erodibility.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL .	19
FIGURA 2 - ESQUEMA GERAL DA ORIENTAÇÃO DOS ESTUDOS DE PAISAGEM INTEGRADA	26
FIGURA 3 - EFEITO <i>SPLASH</i>	32
FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA SUPERFÍCIE DO SOLO	34
FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO REPRESENTATIVA DA DENSIDADE DA COBERTURA VEGETAL.....	37
FIGURA 6 - FATORES CONTROLADORES DO PROCESSO EROSIVO.....	39
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	45
FIGURA 8 – EXAME DO PERFIL DE SOLO	47
FIGURA 9 - REGISTRO DO PERFIL DE SOLO E COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS.....	48
FIGURA 10 - ARRANJAMENTO DE NOTAÇÕES E PADRÕES DE CORES DO SOLO.....	49
FIGURA 11 - DIAGRAMA DAS CLASSES TEXTURAIS DO SOLO	50
FIGURA 12 - PRINCIPAIS TIPOS DE ESTRUTURAS E FORMAS DE ARRANJAMENTO DO SOLO	50
FIGURA 13 - PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE MORFOLÓGICA.....	51
FIGURA 14 - ELABORAÇÃO DO TESTE DE INFILTRAÇÃO	52
FIGURA 15 - PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA DENSIDADE DO SOLO	54
FIGURA 16 - PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE PARTÍCULAS	55
FIGURA 17 - AMOSTRAS INDEFORMADAS DISPOSTAS PARA SECAGEM NATURAL.....	57
FIGURA 18 - AMOSTRAS EM PROVETA GRADUADA APÓS O PROCESSO DE LAVAGEM	59
FIGURA 19 - PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DAS ALÍQUOTAS DE ARGILA	59
FIGURA 20 - PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DAS ALÍQUOTAS DE AREIA	60
FIGURA 21 - SEPARAÇÃO DE AREIA GROSSA E AREIA FINA	61
FIGURA 22 - CLASSES DE FORMA DE TERRENO.....	65
FIGURA 23 - FASES DE URBANIZAÇÃO EM SÃO LUÍS-MA.....	68
FIGURA 24 - ASPECTO DE TRECHO DO ALTO CURSO DO RIO ANIL NO BAIRRO PIRAPORA EM PROCESSO DE OBSTRUÇÃO DE SUAS MARGENS.....	71
FIGURA 25 - DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOMÉSTICOS.....	72
FIGURA 26 - MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL	73
FIGURA 27 - VISTA PARCIAL DO SÍTIO SANTA EULÁLIA COM OCORRÊNCIA DE PROCESSOS EROSIVOS	75
FIGURA 28 - VISTA PARCIAL DA VIA EXPRESSA – MA 207: EM PRIMEIRO PLANO PROCESSO EROSIVO, AO FUNDO EXTENSA ÁREA DE MANGUE NO BAIXO CURSO DO ANIL	77

FIGURA 29 - LOTEAMENTOS IRREGULARES NA RUA: 38 NO BAIRRO VINHAIS – SÃO LUÍS, MA .	79
FIGURA 30 - OCUPAÇÕES IRREGULARES E SUPRESSÃO DE MANGUEZAL NO BAIXO CURSO DO RIO ANIL.....	79
FIGURA 31 - MAPA DE DELIMITAÇÃO DOS BAIRROS NA ÁREA DE ESTUDO.....	80
FIGURA 32 – ESTRATIGRAFIA DA BACIA DE SÃO LUÍS.....	82
FIGURA 33 - MAPA DE FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL.....	84
FIGURA 34 - NÍVEIS TAXONÔMICOS DO RELEVO PROPOSTO POR JURANDIR ROSS	86
FIGURA 35 - MAPA DE UNIDADES DE RELEVO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL.....	88
FIGURA 36 - MAPA DE CURVATURA DO TERRENO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL.....	90
FIGURA 37 - MAPA DE DECLIVIDADE DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL	92
FIGURA 38 - MAPA DE HIPSOMETRIA DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL	94
FIGURA 39 - MAPA DAS CLASSES DE SOLOS DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL.....	97
FIGURA 40 – GLEISSOLOS TIOMÓRFICOS EM CANAL DE DRENAGEM NAS PROXIMIDADES DA VIA EXPRESSA.....	100
FIGURA 41- PRESENÇA DE MATERIAL TECNOGÊNICO EM ÁREAS DE SOLO EXPOSTO NA VIA EXPRESSA.....	101
FIGURA 42 - MAPA DO ESBOÇO DAS CLASSES DE SOLOS DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL	102
FIGURA 43 - DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM PERÍODO CHUVOSO E DE ESTIAGEM NA ILHA DO MARANHÃO, ANO DE 2016.....	104
FIGURA 44 - PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM 2016 E 2017.....	104
FIGURA 45 - PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO PERÍODO DE FEVEREIRO A AGOSTO DE 2018.	105
FIGURA 46 - MAPA DE HIERARQUIA DE DRENAGEM DO BAIXO CURSO DA BACIA DO ANIL.....	107
FIGURA 47 - TESTE DE INFILTRAÇÃO – SÍTIO SANTA EULÁLIA (PONTO 1).....	111
FIGURA 48 - TESTE DE INFILTRAÇÃO – VIA EXPRESSA (PONTO 2)	111
FIGURA 49 - TESTE DE INFILTRAÇÃO – VIA EXPRESSA (PONTO 3)	111
FIGURA 50 -TESTE DE INFILTRAÇÃO – VIA EXPRESSA (PONTO 4).....	112
FIGURA 51 - TESTE DE INFILTRAÇÃO – VIA EXPRESSA (PONTO 5)	112
FIGURA 52 – CARTA DO ESBOÇO PEDOLÓGICO SIMPLIFICADO DO SÍTIO SANTA EULÁLIA ASSOCIADO AO PONTO 1	114

FIGURA 53 – DETALHE DE PEDESTAL (<i>DEMOISELLES</i>).....	115
FIGURA 54 - OCORRÊNCIA DE PEDESTAIS INTERCALADOS COM REMOÇÃO DE PARTÍCULAS PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	115
FIGURA 55 - FILETES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	116
FIGURA 56 - PRESENÇA DE ATIVIDADE BIOLÓGICA	116
FIGURA 57 - DUTO NO INTERIOR DA VOÇOROCA	117
FIGURA 58 - PRESENÇA DE RESÍDUOS TECNOLÓGICOS NO INTERIOR NO PROCESSO EROSIVO..	120
FIGURA 59 - FLUXO SUPERFICIAL CONCENTRADO, DIREÇÃO DO ESCOAMENTO E FORMAÇÃO DE SULCOS.....	121
FIGURA 60 - FORMAÇÃO DE FILETES SUBVERTICAIS	121
FIGURA 61 - ÁREAS DE MANGUE NAS PROXIMIDADES DO PONTO DE COLETA 3.....	124
FIGURA 62 - DIREÇÃO DO FLUXO DE ESCOAMENTO E PRESENÇA DE ALCOVAS DE REGRESSÃO	125
FIGURA 63 - ÁREA DE SOLO EXPOSTO COM PRESENÇA DE RAVINAS	125
FIGURA 64 – ÁREA DE SOLO EXPOSTO	126
FIGURA 65 – CARTA DO ESBOÇO PEDOLÓGICO SIMPLIFICADO DA VIA EXPRESSA ASSOCIADO AO PONTO 2 E PONTO 3.....	127
FIGURA 66 - PRESENÇA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS NO PONTO DE OBSERVAÇÃO 4....	130
FIGURA 67 - GRETAS DE CONTRAÇÃO NA SUPERFÍCIE DO SOLO E VOÇOROCA NAS PROXIMIDADES DA COMUNIDADE DO “BARREIRO”	130
FIGURA 68 - VOÇOROCA EM ÁREAS DE OCUPAÇÃO NO SEU ENTORNO AO LADO DA VIA EXPRESSA	133
FIGURA 69 - ASPECTO DA VOÇOROCA E PRESENÇA DE LATERITA.....	133
FIGURA 70- MOVIMENTO DE MASSA E SOLAPAMENTO DA BASE PRÓXIMO A VOÇOROCA.....	134
FIGURA 71 - TALUDE EM CORTE DE ESTRADA COM REDE DE RAVINAS PRÓXIMO AO PONTO 5..	134
FIGURA 72 – CARTA DO ESBOÇO PEDOLÓGICO SIMPLIFICADO DA VIA EXPRESSA ASSOCIADO AO PONTO 4 E PONTO 5.....	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TEMPERATURA E TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO DAS AMOSTRAS	58
TABELA 2 - CLASSES DE SOLOS PROPOSTAS POR TRENTIN (2011) ADAPTADAS PARA A ÁREA DE ESTUDO	66
TABELA 3 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL	74
TABELA 4 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL	83
TABELA 5 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS UNIDADES DE RELEVO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL	87
TABELA 6 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS FORMAS DE TERRENO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL	89
TABELA 7 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL.....	93
TABELA 8 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS CLASSES HIPSOMÉTRICAS DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL.....	95
TABELA 9 - VALORES ABSOLUTO E RELATIVO DAS CLASSES DE SOLOS DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL	96
TABELA 10 - QUANTIDADE DE TRECHOS DOS CANAIS DE DRENAGEM DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ANIL.....	106
TABELA 11 - DENSIDADES E POROSIDADE DE AMOSTRAS VOLUMÉTRICAS	109
TABELA 12 - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL 1 ASSOCIADO AO PONTO 1.....	118
TABELA 13 - RESULTADOS DAS ANÁLISES TEXTURAIIS DO PERFIL 1.....	119
TABELA 14 - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL 2 ASSOCIADO AO PONTO 2.....	122
TABELA 15 - RESULTADOS DAS ANÁLISES TEXTURAIIS DO PERFIL 2.....	123
TABELA 16 - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL 3 ASSOCIADO AO PONTO 3.....	128
TABELA 17 - RESULTADOS DAS ANÁLISES TEXTURAIIS DO PERFIL 3.....	129
TABELA 18 - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL 4 ASSOCIADO AO PONTO 4.....	131
TABELA 19 - RESULTADOS DAS ANÁLISES TEXTURAIIS DO PERFIL 4.....	132
TABELA 20 - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL 5 ASSOCIADO AO PONTO 5.....	136
TABELA 21 - RESULTADOS DAS ANÁLISES TEXTURAIIS DO PERFIL 5.....	138

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APA	Área de Proteção Ambiental
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COHAB	Cooperativa Habitacional Brasileira
COHAFUMA	Cooperativa Habitacional dos funcionários da Universidade Federal do Maranhão
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPEMA	Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão
FCT/UNESP	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPASE	Instituto de Previdência e Assistência dos Servidores do Estado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MA	Maranhão
MDE	Modelo Digital de Elevação
NUGEO	Núcleo Geoambiental
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
Secid/MA	Secretaria das Cidades e Desenvolvimento Urbano do Maranhão
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
TIN	Triangular Irregular Networks
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
U. S. D. A.	United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Natureza, Paisagem e Geomorfologia	21
2.2 Paisagem Integrada e Geossistema.....	26
2.3 Fator Antropogênico na Ciência da Paisagem.....	28
2.4 Áreas degradadas e Erosão Urbana	31
2.5 Fatores Condicionantes dos Processos Erosivos	36
2.6 Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise	40
2.7 Pesquisas sobre os Processos Erosivos no Maranhão.....	41
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
4 EXPANSÃO URBANA E ASPECTOS DA PAISAGEM NO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL EM SÃO LUÍS – MA	67
4.1 Expansão Urbana, Uso e Cobertura da Terra	67
4.2 Caracterização da Paisagem Local	81
4.2.1 Características Geológicas	81
4.2.2 Geomorfologia e Características das Encostas	85
4.2.2.1 Declividade e Hipsometria.....	91
4.2.3 Distribuição das Classes de Solos e Caracterização Pedológica.....	95
4.2.4 Aspectos Climáticos.....	103
4.2.5 Hidrografia	105
5 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS E SUA RELAÇÃO COM A EXPANSÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESSOS EROSIVOS	108
5.1 Densidade do Solo, Densidade de Partículas e Porosidade Total.....	108
5.2 Diagnóstico da Infiltração da Água nos Solos.....	110
5.3 Descrição dos Perfis dos Solos, Classificação das Subfeições Erosivas e Esboço Pedológico Simplificado.....	113

CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
REFERÊNCIAS	141
ANEXOS	153
ANEXO A – Modelo de ficha para descrição morfológica dos solos no campo	154
ANEXO B – Ficha do Teste de Infiltração dos solos	155
ANEXO C – Convenção de cores das classes de 1º e 2º níveis categóricos do SiBCS utilizadas no mapa/cartas de solos da área de estudo	156
ANEXO D – Áreas e zonas de proteção ambiental – EIA/RIMA – Via Expressa	157
ANEXO E – Zoneamento – EIA/RIMA – Via Expressa	158
ANEXO F – Influência direta 1 – EIA/RIMA – Via Expressa	159
ANEXO G – Influência direta 2 – EIA/RIMA – Via Expressa.....	160
ANEXO H – Índices Pluviométricos – São Luís/MA.....	161

1 INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um fenômeno natural, porém nos últimos anos tem sido alvo de preocupação e discussão entre pesquisadores de diversas áreas do conhecimento passando a envolver também o poder público e a população em geral.

Este fato se justifica em virtude do rápido crescimento das cidades em decorrência dos processos de urbanização e industrialização que tem provocado significativas alterações sobre o meio físico urbano. A geomorfologia urbana procura compreender em que medida estas transformações do meio ambiente, causadas pelo homem, podem ser responsáveis pela aceleração de certos processos geomorfológicos (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Guerra e Marçal (2006), apontam que a combinação do crescimento populacional com a ocupação de novas áreas, assim como a exploração de novos recursos naturais, tem causado uma pressão cada vez maior sobre o meio físico. Dessa forma a degradação do solo acontece de forma natural ou acelerada pelo uso e exploração inadequada de seus recursos.

O fenômeno geológico da erosão sempre fez parte da dinâmica do processo [...]. No entanto, a componente antrópica se fez presente desde que o homem existe. Com o aumento da população, essa influencia aumenta da mesma forma, sendo as consequências piores quanto menor é o cuidado com a conservação do solo (CARVALHO, 1994, p.25).

Jorge (2011) enfatiza bem esta questão ao avaliar o crescimento urbano e a precariedade das ocupações caracterizadas pela supervalorização das melhores áreas da cidade e ausência quase completa de áreas urbanizadas destinadas à moradia popular. Esta população de baixa renda buscando alternativas de moradias passou a ocupar áreas ambientalmente frágeis, como margens de rios, mangues e encostas íngremes. A autora afirma ainda que estas ocupações aumentam a vulnerabilidade das áreas já naturalmente frágeis devido às condições a que são impostas por meio de aterros instáveis, taludes de corte em encostas íngremes, palafitas, ausência de redes de abastecimento de água e coleta de esgoto.

Guerra (2015) acrescenta que apesar da importância que os solos têm para a sobrevivência da espécie humana, dos vegetais e dos animais na superfície da Terra, parece que o homem tem dado pouca atenção a esse recurso natural, no que diz respeito a sua utilização e conservação. As atividades humanas exercem certa influência na erosão¹ sob

¹ “A partir do Período Neolítico, ocorre a sedentarização do homem para o plantio e produção de seu próprio alimento que, conseqüentemente, proporcionou um crescimento da população. Concomitantemente, houve o desenvolvimento de técnicas que resultaram no estabelecimento das mais diversas formas de uso e ocupação da terra, as quais deram início ao processo denominado de erosão acelerada” (PINTON; CUNHA, 2008, p. 329-330).

determinadas circunstâncias, as taxas de erosão são maiores, com a interferência humana, do que seria apenas considerando-se em termos geológicos (CARVALHO *et al.*, 2000, p.6-7).

Além de produzir sedimentos de forma prejudicial, a erosão causa sérios prejuízos, reduzindo a fertilidade e produtividade do solo. As condições de escoamento superficial e as características hidráulicas de canais naturais são exacerbadas pelo aumento da área de drenagem e pela alteração das suas feições morfológicas originais.

A intensificação dos processos erosivos é particularmente danosa para os recursos hídricos devido ao assoreamento de cursos d'água e de reservatórios. Um dos efeitos diretos do assoreamento é a maior frequência e intensidade de enchentes e inundações causando grandes transtornos e prejuízos às populações urbanas, principalmente aos moradores de áreas próximas aos cursos d'água (SANTORO, 2009, p 65).

Na Ilha do Maranhão, verificou-se um crescimento do uso e ocupação desordenados do solo principalmente através das ocupações irregulares, desencadeando problemas relacionados aos processos erosivos devido à supressão da cobertura vegetal e assoreamento de rios, interferindo na sua dinâmica ambiental (MORAES, *et al.*, 2015, p. 25).

Com relação às atividades humanas e a fragmentação ambiental na Ilha do Maranhão, Araújo, *et al.*, (2015) revelam que:

Neste contexto de expansão urbana e o conseqüente aumento do número de edificações e vias de tráfego, pode-se observar um espaço cada vez mais fragmentado do ponto de vista ambiental. A própria paisagem já alerta a fragmentação, a cada vez que, por exemplo, uma via é feita dentro de um determinado espaço e até mesmo dentro de uma reserva florestal ou de um ambiente pouco artificializado (por exemplo, a Via Expressa), onde fica perceptível que a nova construção modifica a paisagem original e corta parte da dinâmica natural da vida que antes existia no local (ARAÚJO, *et al.*, 2015, p. 252).

Os autores mencionados corroboram que na zona urbana, a principal forma de alteração dos solos é a impermeabilização que ocorre em decorrência do calçamento de vias públicas, favorecendo o escoamento superficial, que contribuem para assoreamento dos corpos hídricos desencadeando uma série de processos erosivos.

Nesta perspectiva, Moraes *et al.*, (2015) afirmam que as modificações geradas pela ocupação desordenada do espaço urbano no município de São Luís, por exemplo, são responsáveis por importantes alterações no ciclo hidrológico, tendo em vista a aceleração do processo de degradação ambiental dos rios, graças ao crescimento populacional sem planejamento, aumentando a impermeabilização do solo, através das edificações e da pavimentação das vias de circulação.

Botelho (2011) defende a ideia da adoção de novos paradigmas afirmando que a adição de novos elementos pelo homem nas áreas urbanas como, edificações, pavimentação, canalização, retificação de rios, reduzem de forma drástica a infiltração e favorecem o

escoamento das águas. Para esta autora, a adoção de novos caminhos, o desenvolvimento de novas formas de ocupação, novas técnicas, novas leis, facilitaria o estabelecimento de novas relações de uso do espaço urbano.

Além dos aspectos citados Guerra (2014a), afirma que os estudos realizados em laboratório no que se refere à compreensão da formação e evolução dos processos erosivos são fundamentais para entender como este se desenvolve. Além disso, o entendimento do início do processo contribui na adoção de medidas no sentido de evitar o seu estabelecimento e os ensaios de laboratório e os trabalhos de campo tornam essa identificação mais precisa.

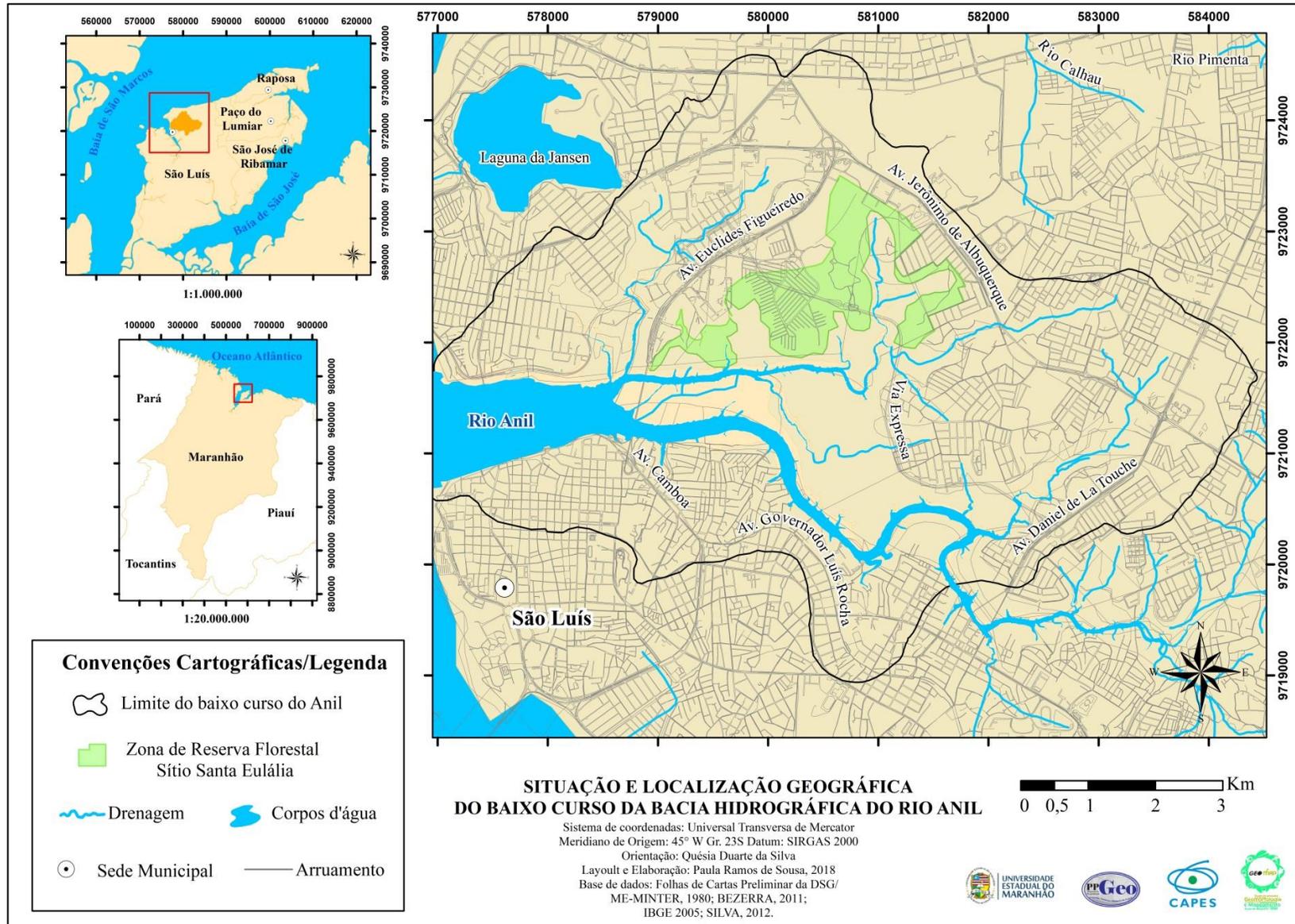
Desta forma entende-se que os conhecimentos geográficos podem ser colocados à disposição da sociedade como forma de minimizar tais processos de erosão acelerada, onde quase sempre o homem tem papel ativo na degradação dos solos. O curso inferior da bacia hidrográfica do Anil, área objeto de estudo da pesquisa, apresenta locais específicos com alto índice de degradação em decorrência de processos erosivos, neste sentido, o estudo destas condições se faz extremamente importante para que ações de controle e prevenção sejam implantadas (Figura 1).

O objetivo geral da pesquisa consiste em analisar os processos erosivos lineares e os fatores que contribuem para a degradação do solo no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil em São Luís – MA.

Quanto aos objetivos específicos pretende-se:

- Identificar o conjunto de aspectos físicos, de uso e ocupação do solo na bacia do rio Anil;
- Verificar os níveis de infiltração dos solos nos pontos amostrais das áreas degradadas;
- Caracterizar os perfis dos solos das áreas com ocorrência de processos erosivos na área de estudo;
- Avaliar as influências das propriedades físicas e morfológicas dos solos na evolução das áreas degradadas.

Figura 1 - Mapa de localização do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil



A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos além das considerações finais e disposição de referências e anexos. O primeiro capítulo refere-se aos aspectos introdutórios onde são levantadas questões sobre o crescimento urbano e suas consequências para a degradação do solo intensificada pelas atividades humanas sem o devido planejamento além de exposição dos objetivos da pesquisa.

No segundo capítulo são elencados os aspectos principais para a compreensão da Natureza, Paisagem e Geomorfologia tendo como base a abordagem sistêmica, os fatores relacionados ao meio físico e suas implicações para a aceleração dos processos geomorfológicos, são discutidos também tópicos relacionados ao conceito de Paisagem como categoria de análise da Geografia, apresenta-se o conceito de degradação de terras e sua relação com os processos erosivos além dos fatores que condicionam os processos mencionados. É apresentada também a importância do uso da bacia hidrográfica como unidade de análise principalmente na Geomorfologia. E como fechamento do capítulo são apresentados os principais trabalhos já realizados no Estado do Maranhão sobre o tema da pesquisa e a importância destes para a continuidade dos estudos sobre erosão e perda de solos.

No terceiro capítulo foram detalhados os procedimentos metodológicos para a realização da pesquisa por meio dos objetivos propostos, sendo distribuídas em três importantes etapas de trabalho: etapa de gabinete para aquisição do referencial teórico e material cartográfico, realização de mapas temáticos, organização e tabulação dos resultados dos levantamentos de campo e análises em laboratório.

O Quarto capítulo reveste-se dos aspectos sobre a área objeto de investigação, considerando a expansão urbana, Uso e Ocupação e as características geoambientais locais como a Geologia, Geomorfologia, Declividade e Hipsometria, distribuição das Classes de Solos, os aspectos climáticos e Hidrografia.

O Quinto capítulo é composto dos resultados das análises das propriedades físicas dos solos e sua contribuição para a expansão das áreas de ocorrência dos processos erosivos atuantes levando em conta as particularidades do meio físico local. Além disso, foi realizada uma descrição dos perfis de solos nos pontos amostrais, o levantamento de subfeições erosivas e apresentação de esboço simplificado das principais classes de solos da área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Natureza, Paisagem e Geomorfologia

Diversos autores, dentre eles, Guerra e Marçal (2006), Guerra, Jorge, Silva (2011), afirmam que as mudanças ambientais decorrentes das atividades humanas sempre aconteceram, mas atualmente as taxas dessas mudanças são cada vez maiores, e a capacidade dos humanos em modificar as paisagens tem aumentado bastante.

A interferência humana no meio natural frequentemente provoca alterações na dinâmica natural, ocasionando modificações na Paisagem. O que Perez Filho e Seabra (2004) confirmam ao afirmar que:

O equilíbrio dinâmico dos ecossistemas que compõem a biosfera é constantemente alterado pela ação antrópica. Como toda a causa tem seu efeito correspondente, todo benefício que o homem extrai da natureza tem certamente também seus malefícios. Desse modo, parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão, levando, às vezes, as condições ambientais a processos até mesmo irreversíveis (PEREZ FILHO; SEABRA, 2004, p.6).

Neste sentido, Gregory (1992) considera a abordagem sistêmica como uma metodologia unificadora para a Geografia e eficaz para o emprego em trabalhos de solos. O autor supracitado revela que, em certos ramos da Geografia Física a abordagem sistêmica foi utilizada como parte de uma base fundamental para o estudo de bacias de drenagem, ou de canais fluviais, e tem sido utilizada como instrumento básico para outros ramos da Geomorfologia.

Com a inserção da Teoria Geral dos Sistemas, o tratamento dado à natureza levou em consideração a interação dos elementos ou a sua associação. A aplicabilidade de tal conhecimento inseriu-se na Geografia Física, inicialmente, na Geomorfologia pelos trabalhos de Arthur Strahler (1950). A abordagem sistêmica propiciou aos estudos de Geografia Física uma substituição da morfologia da paisagem por uma tipologia de padrões espaciais (MENDONÇA, 1991).

Com aplicabilidade da análise sistêmica, a representação da paisagem natural passa a ser percebida como algo dinâmico, com padrões e atributos para cada elemento. A natureza começa, então, a ser analisada, seja por meio de amostragens ou pela quantificação ou até mesmo pela noção de causa e efeito de cada elemento componente no sistema.

Em relação à análise supracitada percebe-se então que o meio físico urbano tem sido alvo de significativas modificações em decorrência dos processos de urbanização e

industrialização. Com o progresso ocorrem também os impactos dos mais variados: poluição atmosférica, do solo e das águas, deslizamentos, enchentes, apenas alguns exemplos de danos provocados pela rápida expansão urbana.

A Revolução Industrial, assim como a Revolução Agrícola, reduziu o espaço necessário para sustentar a população e, conseqüentemente, aumentou a utilização de recursos naturais para manter tanto as indústrias que se multiplicavam como a população crescente das cidades. Tudo isso trouxe quase sempre, conseqüências danosas ao meio físico urbano (GUERRA; MARÇAL, 2006, p. 28).

Neste contexto os referidos autores afirmam que o crescimento rápido e desordenado na grande maioria das cidades, em especial nos países em desenvolvimento, é o grande responsável pelas transformações ambientais, descaracterizando, muitas vezes, o meio físico original.

A geomorfologia urbana procura compreender em que medida estas transformações do meio ambiente, causadas pelo homem, podem ser responsáveis pela aceleração de certos processos geomorfológicos (GUERRA; MARÇAL, 2006, p.29).

Como apontam Goudie e Viles (1997) *apud* Guerra e Marçal (2006) a Geomorfologia Urbana procura compreender a relação existente entre a combinação dos fatores do meio físico (chuvas, solos, encostas, rede de drenagem, cobertura vegetal, etc.) e os impactos provocados pela ocupação humana, que induzem e/ou causam a detonação e aceleração dos processos geomorfológicos.

Conforme Fujimoto (2005), a modificação do relevo promove a criação, indução, intensificação ou modificação dos processos geomorfológicos. A autora descreve ainda algumas atividades antrópicas que geram novos padrões de comportamento morfodinâmicos:

- A. Eliminação da cobertura vegetal e as modificações através de cortes e/ou aterros elaborados para a execução dos arruamentos e moradias acabam por alterar a geometria das vertentes, aumentando a declividade e expondo o material anteriormente protegido da ação direta dos agentes climáticos;
- B. Os arruamentos, mesmo respeitando a topografia, acabam cortando e direcionando os fluxos hídricos, gerando padrões de drenagem não existentes. As ruas transformam-se em verdadeiros leitos pluviais durante os eventos chuvosos, canalizando e direcionando os fluxos para setores que anteriormente possuíam um sistema de drenagem diferente;
- C. A impermeabilização modifica o fluxo da água, tanto na superfície como em profundidade. As superfícies impermeabilizadas não permitem a infiltração da água no solo, assim como a circulação de ar e água;
- D. As canalizações de águas pluviais existentes nas moradias acabam por mudar a direção do fluxo natural das águas das chuvas ou das águas servidas;
- E. Os aterros recobrem a vegetação original e os materiais de cobertura superficial de formação natural, criando áreas de descontinuidades entre materiais heterogêneos, além de elevarem altimetricamente a superfície original, alterando sua declividade (FUJIMOTO, 2005, p.78).

Neste sentido, existe uma necessidade de aprofundamento dos estudos sobre a Geomorfologia como forma de conhecer de que maneira as cidades podem continuar seu

processo de crescimento evitando os desastres ambientais que vem ocorrendo principalmente nos países em desenvolvimento.

Compreende-se que a Geomorfologia tem como principal objeto de estudo as formas de relevo. Além de estudar as formas de relevo, também são investigados os processos que deram origem a essas formas e os materiais que foram trabalhados pelos processos para resultar em diferentes formas.

Neste contexto, a Geomorfologia passa a ter um importante papel, juntamente com a Pedologia, no diagnóstico de áreas degradadas, porque na prática quase todas as atividades que os seres humanos desenvolvem na superfície terrestre estão sobre alguma forma de relevo ou algum tipo de solo.

Sendo assim, a Paisagem enquanto categoria de análise insere-se como uma ferramenta essencial na compreensão das mudanças que vem ocorrendo tanto de forma natural ou induzida pelas atividades humanas.

Sobre este aspecto Vitte (2007), corrobora que:

A temática relativa ao conceito de paisagem e seu tratamento na geografia, acumula ao longo dos tempos uma série de polêmicas envolvendo uma enorme diversidade de conteúdos e significados. Esta elasticidade demonstra, na realidade, uma complexização do conceito, em função de como o mesmo foi tratado pelas várias correntes na geografia, moldadas cada qual em um determinado contexto histórico e cultural (VITTE, 2007, p. 72).

De acordo com esse autor, discutir sobre a categoria paisagem “remete-nos ao processo de institucionalização da geografia como ciência, ciência essa que elege a superfície da terra em seus aspectos físicos e humanos como campo de estudo” (VITTE, 2007, p.72).

Vitte (2007), afirma ainda que quando se trabalha com a história das ciências, particularmente com a chamada revolução científica moderna, é comum serem encontrados referências entre a tradição dominada pela astrologia, até então o único sistema explicativo do mundo, e a revolução newtoniana, com a lei da gravitação universal instituindo um “novo cânone”.

Carvalho; Cavicchioli e Cunha (2002), apontam diversas mudanças que fizeram com que a paisagem perdesse o senso estético, entre elas: “o desenvolvimento do racionalismo cartesiano no início do século XVII, o todo como resultado das partes, através de uma metodologia que ordena os objetos em hierarquias e os analisa considerando cada parte individualmente”.

Os mesmos autores mostram as principais concepções acerca da paisagem: na Escola francesa coexistiram duas ideias básicas sobre o conceito de paisagem, uma considerava a Paisagem-natureza, e a outra com o simbolismo estético (emergência de uma

sensibilidade artística). Na Escola Alemã, surge uma terceira concepção de paisagem muito influenciada pelos ideais do romantismo, caracterizada por uma visão holística integradora que não reconhece divisão entre arte, ciência, religião, público e privado.

Os autores mencionados destacam ainda diferentes concepções de paisagem, como a de Carl Troll que trás o conceito de paisagem cultural como uma nova via metodológica, reforça a ideia de totalidade, onde a natureza e a cultura estão integradas na maioria dos objetos geográficos. Carl Troll, com sua obra “A morfologia da paisagem” de 1925 confirma que esta é natural e cultural ao mesmo tempo acentuando o subjetivo em sua interpretação. As ideias de Troll deram origem a Geocologia e Ecologia da Paisagem desenvolvida na Alemanha.

Na escola Soviética, os autores apresentam as influencias das ideias darwinistas que tem como principal representante Dokuchaev², este que influenciou a elaboração do conceito de paisagem natural de Krasnov e possibilitou a formulação das ideias geossistêmicas do século XX³.

A proposta australiana surge com a necessidade de reconhecimento e tomada de posse de uma vasta área ao norte do país na década de 40, marca também o início da abordagem sistêmica da paisagem com seus principais representantes: Sotchava em 1963 (escola soviética) instituiu o modelo integrado de análise da paisagem. Com Bertrand na década de 70 o conceito geossistêmico ganha mais consistência através da sistematização global dos elementos da paisagem.

Considerando todos estes aspectos das abordagens filosóficas, Schier (2003), aponta alguns fatos que definiram os diferentes conceitos de paisagem na Geografia, a saber:

A geografia alemã, por exemplo, introduziu o conceito da paisagem como categoria científica e a compreendeu até os anos 1940 como um conjunto de fatores naturais e humanos (Otto Schlüter, Siegfried Passarge e Karl Hettner). Os autores franceses, sob influência de Paul Vidal de la Blache e Jean Rochefort, caracterizaram a *paysage (ou o pays)* como o relacionamento do homem com o seu espaço físico. A revolução quantitativa, iniciada nos anos 40 nos Estados Unidos, substituiu o termo *landscape*, que estava, até então, em uso nesse país sob influência da geografia alemã (Carl Sauer), pela ideia da “região” (Richard Hartshorne), sendo esta um conjunto de variáveis abstratas deduzidas da realidade da paisagem e da ação humana. Paralelamente, surgiu na Alemanha e no Leste europeu uma idéia mais

² Edafólogo russo (1846 -1903), considerado o pai da ciência do solo.

³ “Até meados do século XX, essa teoria permaneceu pouco difundida, mas uma série de apropriações em diversos ramos científicos ocorreu a partir de então. Ela propõe que os sistemas podem ser definidos como conjuntos de elementos com variáveis e características diversas, que mantêm relações entre si e entre o meio ambiente” [...] “Apesar ter sido formulada pela escola russa, por meio de V.B. Sotchava, que propõe o conceito e dele se utiliza de forma pioneira num estudo publicado em 1960, a teoria foi difundida no mundo ocidental pela escola francesa e por iniciativa de G. Bertrand, na mesma década, em 1968” (RODRIGUES, 2001, p.72-73).

holística e sinérgica da *Landschaft*⁴, denominada *Landschaftskomplex* (Paul Schmithüsen), que definiu as unidades da paisagem pelo conjunto dos seus processos ecológicos. Esta ideia se encontra, entre outros, também na *Landschaftsökologie* (ecologia da paisagem), como foi proposta por Carl Troll e mais tarde por Hartmut Leser. A *Human ecology*, de cunho norte-americano, definiu igualmente a paisagem como um sistema ecológico (SCHIER, 2003, p.80, grifo do autor).

Para Carvalho; Cavicchioli; Cunha (2002), a paisagem surge então como uma categoria de análise geográfica com caráter integrador, portanto entendida como um sistema global articulado em suas partes físico-naturais, socioeconômicos e culturais. Portanto, Schier (2003), complementa que:

De modo geral, o estudo da paisagem exige um enfoque, do qual se pretende fazer uma avaliação definindo o conjunto dos elementos envolvidos, a escala a ser considerada e a temporalidade na paisagem. Enfim, trata-se da apresentação do objeto em seu contexto geográfico e histórico, levando em conta a configuração social e os processos naturais e humanos (SCHIER, 2003, p.80).

Nesse sentido, outra autora considera que através da visão crítica, as transformações na paisagem são percebidas como:

O resultado de uma interação homem-meio, possibilitando enxergar o homem como construtor e transformador de paisagem, muito do que foi escrito antes sobre este conceito já não fazia muito sentido. Analisar a paisagem como mera “evolução” da natureza não proporcionava entendimento nem solucionava muitos problemas que envolviam este tema. Era preciso mudar, rever conceitos (KIYOTANI, 2014, p.34).

Como sistema, a paisagem começa a ser entendida por completo à medida que reflete e é reflexo das várias relações sociais e homem-meio existentes e que podem ser visualizadas e estudadas através da paisagem (KIYOTANI, 2014, p.38).

[...] é importante compreender os conceitos e as categorias fundamentais que abarcam o pensamento geográfico, tais como espaço geográfico, tempo, paisagem e ambiente, procurando estabelecer as conexões espaciais e temporais entre as dinâmicas sociais e ambientais (NUNES, *et al.*, 2006, p.?).

Portanto, com relação ao método científico⁵ Nunes, *et al.*, (2006), enfatizam o que se espera da Geografia Física em especial é a construção de uma visão plena dos processos de produção da natureza, onde a natureza e sociedade estejam integradas, mesmo quando se adotam diferentes temas ou diferentes recortes espaciais.

⁴ Segundo Rodriguez; Silva (2002), o conceito de *Landschaft* (paisagem natural) foi considerado como sinônimo da noção de Geossistema. Assim, a paisagem era considerada como uma formação sistêmica, formada por cinco atributos sistêmicos fundamentais: estrutura, funcionamento, dinâmica, evolução e informação. Pela primeira vez, a análise espacial (própria da Geografia Física) articulava-se com a análise funcional (própria da Ecológica Biológica).

⁵ Sobre este assunto e buscando refletir sobre as inter-relações existentes entre Geografia, Natureza e Sociedade, consultar NUNES, J. O. R. Geografia e a busca pelas articulações. **Geographia Meridionalis**. V. 01, n. 01 Jun/2015 p. 03–29. ISSN 2446-9165.

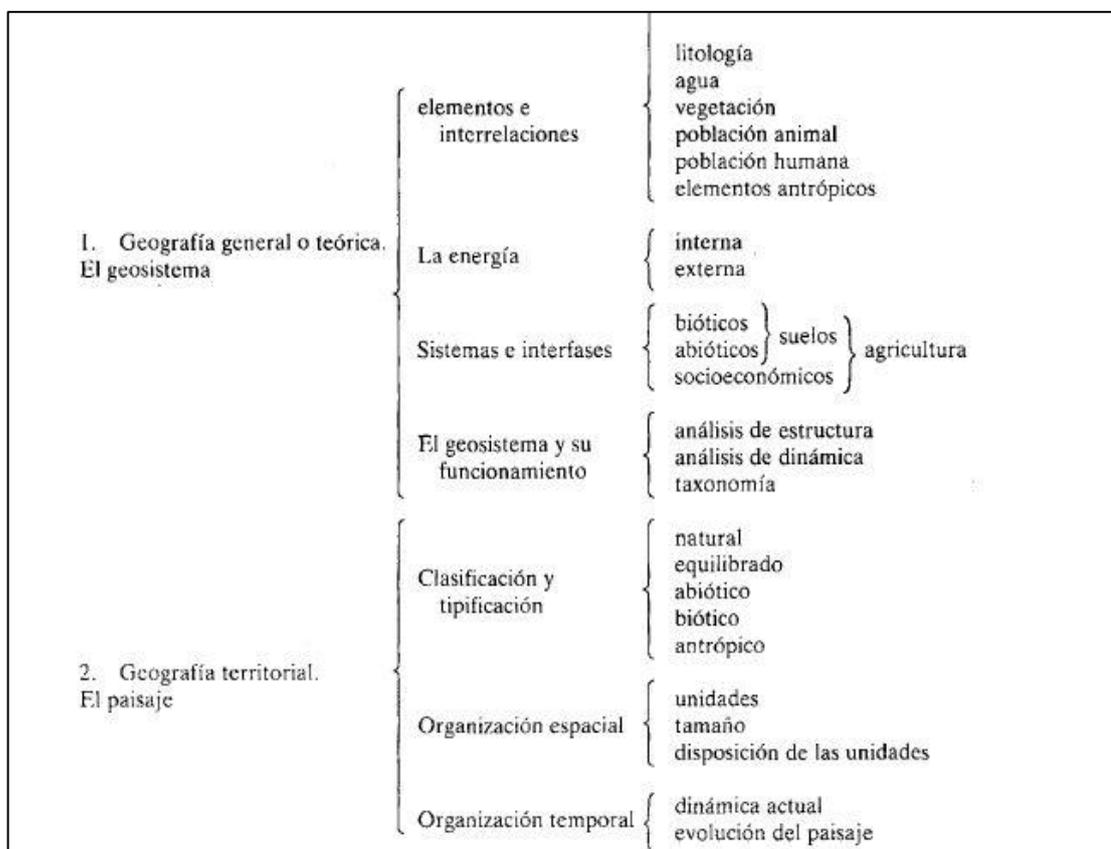
2.2 Paisagem Integrada e Geossistema

A partir da década de 1980 em diante tornou-se crescente nos estudos relacionados à paisagem, trabalhos com abordagem sistêmica e integrada dos componentes da natureza (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Nesse contexto, Bolós (1981), apresenta o conceito de “paisagem integrada” como resultado da interação do geossistema com seus elementos, estrutura e dinâmica, localização espacial e temporal (Figura 2).

Bolós (1981, p. 57), define a paisagem integrada como “uma área geográfica, cuja morfologia agrega uma complexa inter-relação entre litologia, estrutura, solo, fauna, sob a ação constante da sociedade que a transforma”. A mesma autora leva em consideração três critérios fundamentais para sua classificação de paisagem integrada: o tipo de sistema, tamanho e tempo.

Figura 2 - Esquema Geral da orientação dos Estudos de Paisagem Integrada



Fonte: Bolós, (1981, p.49).

Percebe-se assim que o conceito de paisagem tem sido bastante discutido entre diversos autores, fato este relacionado com a origem do termo numa perspectiva clássica até

evoluir para análises mais modernas chegando ao conceito mais recente de paisagem integrada (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Alguns autores consideram que a ideia de paisagem atualmente está mais focada na avaliação ambiental, sendo assim considerado um produto cultural resultado do meio ambiente sob a ação da atividade humana. Sobre este aspecto cultural na determinação do comportamento humano em relação ao ambiente, Schier (2003) afirma que:

Determinadas paisagens apresentam, na sua configuração, marcas culturais e recebem, assim, uma identidade típica. A problemática ambiental moderna está ligada à questão cultural e leva em consideração a ação diferenciada do homem na paisagem. Desta forma, a transformação da paisagem pelo homem representa um dos elementos principais na sua formação (SCHIER, 2003 p. 80).

Sobre este assunto, Vitte (2007), afirma que:

A categoria paisagem permite-nos refletir de um lado, sobre as bases de fundamentação do conhecimento geográfico como projeto da modernidade. Por outro lado, ela insere-se no debate sobre a complexidade da abordagem integrada entre a natureza e a cultura nas ciências sociais (VITTE, 2007, p. 71).

Defende-se que o estudo de geossistemas é fundamental no processo de planejamento de áreas para diversos usos. Assim, Sotchava (1977) defendeu que a Geografia Física baseada nos princípios sistêmicos pode ocupar posições firmes na moderna geografia aplicada, apoiada no planejamento de desenvolvimento e reconstrução de seus territórios.

Contudo, o autor supracitado lembra que se devem estudar não apenas os componentes da natureza, mas as conexões entre eles, não se restringindo a morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas, de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional, conexões, etc.

Neste contexto, o autor lança a proposição de questões sobre as bases lógicas do estudo do Geossistemas, as mudanças a eles associadas no setor da Geografia Física e, também, as perspectivas de serem os seus dados usados na prática. Porém, reforça que:

A Geografia Física não constitui uma super-síntese, nem mesmo de uma parte das ciências geográficas que estudam a natureza. “No conceito moderno a Geografia Física acha-se principalmente relacionada aos aspectos antrópicos do ambiente” (SOTCHAVA, 1977, p.5).

O mesmo autor afirma que, embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais, influenciando sua estrutura e peculiaridades espaciais, são tomados em consideração durante o seu estudo.

Rodrigues (2001) complementa que é preciso reafirmar que, a teoria geossistêmica faz parte de um conjunto de formulações teórico - metodológicas da Geografia

Física, surgidas em função da necessidade de a Geografia lidar com os princípios de interdisciplinaridade, síntese e com a abordagem multiescalar.

Uma outra noção implícita é a noção de *dinâmica*, pela qual é possível classificar os geossistemas de acordo com seu estado ou estados sucessivos, assim como é possível assumir ou propor hipóteses sobre sua dinâmica futura, característica fundamental para a aplicação ou para o planejamento. O *caráter preditivo* da proposta é um dos principais pontos de apoio de sua aplicabilidade, o que permite identificar a direção ou balanço de processos, inclusive por incorporar o fator antrópico (RODRIGUES, 2001, p.73, grifo da autora).

Outra recomendação sobre a delimitação dos geossistemas reside na renúncia da justaposição de classificações e unidades sintéticas, que levaria a um mosaico sem relação com os mecanismos que estão em funcionamento em cada porção espacial (RODRIGUES, 2001).

2.3 Fator Antropogênico na Ciência da Paisagem

Os estudos em torno do fator antropogênico na ciência da paisagem, são problemas que em seu conjunto, compõem tarefas sobre as quais as atenções da sociedade contemporânea se acham focalizadas e que envolvem questões sobre o impacto do homem na natureza, a preservação do ambiente natural e utilização racional dos recursos naturais (SOTCHAVA, 1977).

O autor citado considera ainda que:

A chamada ciência da paisagem antropogênica abrange, não apenas a avaliação (por meio de classificação) de todas as manifestações dos fatores antropogênicos nos complexos naturais, mas, também, uma atitude construtiva em relação aos mesmos (conservação-preservação e, o mais importante, otimização), a abordagem sistêmica (estudo do Geossistemas) tem um significado decisivo para ela (SOTCHAVA, 1977, p. 42-43).

Porém Sotchava (1977), considera que a paisagem antropogênica, via de regra, não é produto de colaboração, surgindo mais como resultado de uma atividade que afeta a natureza, sem que seja considerado qualquer efeito nocivo que tal atividade possa acarretar. A maior parte das paisagens antropogênicas, para as quais os geógrafos voltam a sua atenção, resulta de “conflitos” entre o homem e a natureza.

Santo Filho (2011), ressalta que:

A reflexão antropogeomorfológica aproxima o fenômeno de construção da cidade aos estudos da geomorfologia clássica e inaugura um campo de investigação sobre a interface entre o ambiente construído e o natural, em uma Antropogeomorfolgia urbana (SANTOS FILHO, 2011, p.231).

O homem, como agente geomorfológico, cria novas formas de duas maneiras distintas: primeiro como objeto direto de modificação, sendo que esta pode ser proposital ou

incidental para outras atividades; segundo através de suas influencias diretas sobre outros processos geomorfológicos. A erosão do solo é o mais conhecido e documentado de todos os efeitos geomorfológicos do homem (BROWN, 1971).

Essa capacidade crescente de efetuar trabalho geomorfológico está diretamente relacionada à quantidade de energia de que o próprio homem dispõe e que depende de seu estado de desenvolvimento tecnológico (BROWN, 1971, p.14).

Sobre este assunto Peloggia (1996) sintetiza que a ação humana sobre a natureza tem consequências geológico-geomorfológicas referíveis a três níveis de abordagem: na modificação do relevo e alterações fisiográficas (relevos tecnogênicos); em alterações da fisiologia das paisagens (criação, indução, intensificação ou modificação do comportamento dos processos da dinâmica externa); na criação de depósitos superficiais correlativos (depósitos tecnogênicos), ou seja, constituindo-se em marcos estratigráficos. No entanto, a atuação do homem enquanto agente geológico introduz algo essencialmente novo, e que o diferencia de todos os demais tipos de agentes e fatores geológicos.

Vitorino *et al.*, (2016) explicam também que os terrenos tecnogênicos ou antropogênicos são produzidos pela agência geológica humana sobre a superfície do planeta. Esclarecem ainda que o conceito deriva, por um lado, daquele de terrenos artificiais (*artificial ground*), proposto pelo Serviço Geológico Britânico (BGS) a partir da década de 1990 e provem também do conceito de depósito tecnogênico proposto pela Geologia de Engenharia Soviética, a partir da década de 1980 sendo adotado no Brasil a partir da década de 1990.

Nesse sentido, com relação à Antropogeomorfologia e sua importância diante do intenso processo de ocupação, Paschoal, Simon e Cunha (2015) evidenciam o homem enquanto agente geomorfológico independente capaz de criar novas feições e contribuir para a alteração da paisagem geográfica.

A alteração das feições geomorfológicas é realizada para a organização das atividades do sistema socioeconômico, no entanto, é preciso compreender a dinâmica natural dos sistemas físico-ambientais para que a intervenção sobre os elementos que estão em contato direto com o processo de ocupação, em especial geomorfologia e hidrografia, ocorra de forma a promover o mínimo impacto, não se convertendo em situações de degradação ambiental e risco para as diferentes atividades antrópicas desenvolvidas (PASCHOAL; SIMON e CUNHA, 2015, p. 119).

Os autores supracitados reforçam a ideia de que a Antropogeomorfologia pode estar aliada ao planejamento ambiental no sentido de promover a integração da geomorfologia tradicional com situações de ordem prática e que podem contribuir para o planejamento do processo de ocupação e uso da terra.

Entretanto, mostram alguns desafios e potencialidades teórico-metodológicas que podem servir de base para estudos futuros dentro desta perspectiva de análise:

- A cartografia geomorfológica apresenta-se como principal técnica utilizada nos estudos vinculados à Antropogeomorfologia, pois, quando aplicada em intervalos de tempo sobre um mesmo fragmento espacial concede respaldo a análise das formas e, por dedução, aos processos que atuam sobre determinado sistema subordinado aos mecanismos de controle antrópico;
- Análises sobre a dinâmica do uso da terra devem ser correlacionadas com as técnicas de cartográfica geomorfológica retrospectiva, pois fornecem subsídio para a avaliação da evolução do relevo antropogênico⁶;
- Os mapeamentos de uso da terra e geomorfológicos vinculados à análise da evolução do relevo antropogênico devem abranger o maior número de cenários possível;
- A abordagem antropogemorfológica encontra significativo respaldo na utilização dos geoindicadores para a definição do grau de intervenção antrópica sobre a morfohidrografia [...] (PASCHOAL; SIMON e CUNHA, 2015, p. 120).

Assim, a evolução de rupturas de declive, sulcos erosivos, ravinas, voçorocas, colos erosivos, bem como de áreas de deposição e terraços podem ser considerados como geoindicadores da dinamização dos processos de erosão dos solos e de sedimentação.

Diante de tantas possibilidades teórico-metodológicas, Guerra e Marçal (2006), afirmam que talvez um dos maiores desafios para as ciências, na atualidade, seja o de ajustar suas metodologias, ou redirecionar suas ações, na tentativa de apontar mecanismos e possíveis respostas que possam levar a soluções, que, no mínimo, orientem a forma adequada de planejar, recuperar ou conservar as diversas paisagens da superfície terrestre.

Neste sentido, Rodrigues (2010), avaliando o impacto humano da urbanização em sistemas hidro-geomorfológicos⁷ demonstra a importância da antropogeomorfologia e da cartografia geomorfológica para identificação e aplicação de indicadores e parâmetros de avaliação dos efeitos das intervenções antrópicas nesses sistemas.

A autora mencionada também evidencia a necessidade de considerar simultaneamente dois tipos de abordagem: “as abordagens históricas em Geomorfologia integradas a parâmetros quantitativos” (p.111). Dentre os principais resultados da aplicação da metodologia proposta estão a produção de mapas geomorfológicos de caráter retrospectivo e

⁶ “Os depósitos tecnogênicos são correlativos aos processos decorrentes das formas humanas de apropriação do relevo e, devido à originalidade dessa determinação, sua época de existência por decorrência caracteriza um tempo geológico distinto: o Quinário ou Tecnógeno. No entanto, a passagem do Quaternário ao Tecnógeno, do ponto de vista estratigráfico, não é homogênea espacialmente, em decorrência justamente da discrepância temporal (heterocronia) do desenvolvimento e difusão das técnicas pelo planeta e pelas regiões. E é nas áreas urbanas que os processos decorrentes da ação transformadora, socialmente produzida, do homem sobre a natureza se concentram e intensificam” (PELOGGIA, 1996, p. 11).

⁷ A autora citada considera como sistemas hidro-geomorfológicos os canais fluviais, planícies de inundação, vertentes, bacias hidrográficas e sistemas lacustres.

evolutivo além da proposição e sistematização de quadro de indicadores que possibilitam avaliar as mudanças, efeitos e impactos da urbanização nos sistemas hidro-geomorfológicos.

2.4 Áreas degradadas e Erosão Urbana

O conceito de degradação de terras faz referência à deterioração ou perda total da capacidade dos solos para uso presente e futuro (FAO, 1980 *apud* ARAÚJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005). Essas perdas ocorrem principalmente por causa das principais formas de erosão e das deteriorações química e física.

Dessa forma, a degradação das condições do solo é muito mais grave, no sentido de que não é facilmente reversível, uma vez que processos de formação e regeneração do solo são muito lentos. A degradação se apresenta de diversas formas, sendo a mais conhecida a erosão do solo. De forma geral, quando o clima e as atividades humanas se combinam tornando um solo anteriormente sadio em uma área devastada, a degradação se torna aparentemente irreversível (ARAÚJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005).

Uma das mais importantes formas de alterações ambientais que envolvem troca de matéria e energia é a erosão. O fenômeno da erosão constitui o conjunto de agentes dinâmicos através do qual atuam de maneira combinada todos os processos de degradação da superfície terrestre, incluindo intemperismo, transporte, ações mecânica e química da água corrente e de outros agentes erosivos, responsáveis pela destruição das saliências ou reentrâncias do relevo, sendo por isso mesmo um importante agente modelador da superfície terrestre. As condições naturais das regiões tropicais, caracterizadas em geral por chuvas abundantes e elevadas temperaturas, favorecem o desenvolvimento de um profundo intemperismo químico que conduz à produção de espessos regolitos, geradores de grande quantidade de material disponível para as fases posteriores de transporte e deposição (IBGE, 2009, p. 107).

A erosão urbana originalmente está relacionada à ausência de planejamento adequado, considerando os aspectos particulares do meio físico e as condições socioeconômicas locais. Neste contexto, grande parte das cidades instaladas em terrenos constituídos por solos de textura arenosa e relativamente profundos apresentam erosão, causada principalmente pela concentração das águas de escoamento superficial.

Destaca-se a ampliação das áreas construídas e pavimentadas influenciando no aumento do volume e velocidade das enxurradas, que quando não dissipadas, concentram o escoamento e aceleram os processos erosivos (SALOMÃO, 2014).

As modificações executadas na paisagem para implantação de cidades afetam a dinâmica hidrológica, alterando os caminhos por onde a água circula. A retirada da cobertura vegetal produz alterações muito drásticas no ciclo hidrológico, capazes de provocar grandes danos nas áreas urbanas. Quando a ocupação é de forma desordenada a degradação dos solos é maior. [...] (SILVA, 2011. p. 57).

Este mesmo autor destaca também que o papel da água no processo de formação dos solos nas áreas urbanas é praticamente nulo, em consequência do predomínio do escoamento superficial em detrimento do processo de infiltração, prejudicando também a recarga do lençol freático e dos aquíferos.

Isso ocorre em consequência da interferência de novos elementos que são adicionados pelo homem, como edificações, pavimentação, canalização e retificação de rios, entre outros, que acabam por reduzir drasticamente a infiltração e favorecem o escoamento das águas.

Por outro lado Botelho, (2011) afirma que:

Os cursos d'água, independente da interferência humana, realizam três processos geomorfológicos básicos: erosão, transporte e deposição, construindo dessa forma, seu próprio perfil de equilíbrio [...]. Qualquer intervenção altera esse equilíbrio dinâmico, obrigando o rio a buscar um novo ajuste (BOTELHO, 2011, p. 77).

Observações feitas por Rodrigues (2014, p. 59) apontam que “a partir do momento em que os solos ficam expostos e sem a proteção proporcionada pela vegetação natural, com a qual se encontrava em equilíbrio dinâmico, a força erosiva dos agentes climáticos passa a atuar diretamente sobre os mesmos”.

Segundo Guerra (2014a) a avaliação do início do processo erosivo se reveste de grande importância para o conhecimento da dinâmica erosiva desde seu princípio. Partindo do momento de queda das gotas de chuva no solo, o efeito *Splash*⁸ pode causar a ruptura dos agregados, selando o topo dos solos (figura 3).

Figura 3 - Efeito *Splash*



Fonte: Brizzi; Souza; Costa (2018, p.306).

⁸ Essa ação também conhecida como erosão por salpicamento é o estágio mais inicial do processo erosivo.

Nesse contexto, considerando a influência da água em solos expostos e áreas degradadas por erosão, Araújo; Almeida e Guerra (2005), ressaltam que:

No princípio do escoamento superficial, a água é coletada em pequenas canaletas, que podem evoluir para pequenos canais chamados *ravinas*. Essas podem, eventualmente, coalescer em canais maiores e mais profundos, chamados *voçorocas*, um processo complexo e destrutivo, que uma vez iniciado, é difícil de parar. As superfícies do solo expostas, ou não protegidas, são as mais vulneráveis a todas as formas de erosão superficial (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005, p. 77-78, grifo dos autores).

Os processos erosivos lineares são facilmente identificados pelos homens devido aos seus diferentes graus de intensidade, profundidade e vestígios deixados nos solos. Estes processos, em algumas situações, iniciam-se com a erosão laminar, todavia, sua forma genética ocorre quando há uma concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial devido alguma irregularidade do terreno por seus atributos naturais ou por modificações ocorridas nestes pela ação antrópica. Estes processos erosivos podem gerar feições diferenciadas de acordo com seu estágio de desenvolvimento: sulcos erosivos, passando a ravinas e atingindo o seu maior estágio de degradação denominado de voçorocas (PINTON; CUNHA, 2008).

A erosão laminar (*Sheet erosion*), ou erosão entressulcos conforme Rodrigues (2014), geralmente é pouco percebido devido sua lenta atuação sobre as vertentes, com remoção de parte da camada superficial do solo por vezes com a ocorrência de tufo de vegetação. Sua identificação se dá em função do aparecimento de raízes e, muitas vezes, pela total remoção dos horizontes superficiais orgânicos.

A erosão em lençol depende da ação da chuva e do escoamento superficial difuso, este tipo de escoamento caracteriza-se pela forma dispersa, não se concentrando em canais, quase sempre ocorrendo em condições de chuva prolongada (IBGE, 2009).

Neste caso, a erosão ocorre pela ação do impacto das gotas de chuva e também pela força de cisalhamento do escoamento. Os sedimentos gerados pelo impacto das gotas dependem da intensidade da precipitação. O impacto gera fragmentos de solo que, por estarem soltos, serão arrastados pelo escoamento superficial, podendo ser transportados até os canais fluviais ou depositados ao longo da vertente (RODRIGUES, 2014, p. 61).

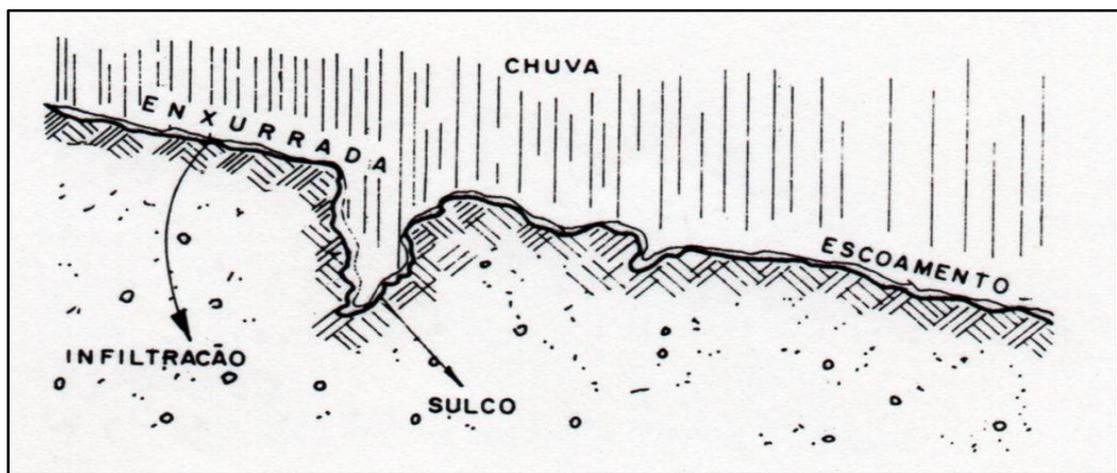
O fluxo laminar (*laminar flow, sheetflow*) pode ser considerado o primeiro estágio do processo erosivo, por compreender um fluxo mais ou menos regular, no qual a concentração de sedimentos e a velocidade das partículas aumentam com o fluxo vertente abaixo, ao mesmo tempo em que a erosão começa a se estabelecer (IBGE, 2009, p. 107, grifo do autor).

Portanto, a água, representa na maior parte dos fenômenos erosivos, um papel maior que o da gravidade, um agente passivo, porém em muitos deles os dois agentes estão

estritamente ligados. Processada a erosão pluvial, a água passa a ter efeito de infiltração e de escoamento (Figura 4).

As águas de infiltração dão lugar a movimentos de remoção de materiais quando a umidade excessiva provoca a perda de coesão do solo, ou seja, quando excede os limites de plasticidade ou de liquidez. As águas de escoamento são aquelas que se escoam pela superfície do terreno, em enxurradas de forma difusa, laminar ou concentrada, e cuja força de arrasto e de transporte é variável segundo os diferentes fatores físicos.

Figura 4 - Ilustração do escoamento da água na superfície do solo



Fonte: Carvalho (1994, p. 29).

O escoamento superficial em terras desprotegidas leva à erosão. As maiores taxas de erosão ocorrem em áreas urbanas, durante o período de construção, em que se produz grande quantidade de solo exposto e mudanças na estrutura física dos solos produzidas pelas escavações (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005, p.70).

Uma forma mais agressiva do que a erosão laminar é a erosão por sulcos. Essa tipologia como aponta Rodrigues (2014, p. 65) engloba processos derivados da ação de fluxos concentrados que ocorrem nas vertentes. Para este autor, sulcos e ravinas são incisões rasas e alongadas que ocorrem no solo, sendo comuns em áreas não vegetadas.

A erosão por sulcos é influenciada também por fatores como o comprimento da rampa, inclinação, tipo de solo, impermeabilização da superfície ou construções humanas que aceleram este tipo de processo erosivo.

O ravinamento é a remoção de solo pela água por canais visíveis ou canaletas muito pequenas que são bem definidas em locais de concentração do fluxo sobre o solo. As ravinas, geralmente, são mais sérias do que a erosão laminar em decorrência da velocidade do

escoamento superficial (*runoff*) que são mais altas nas ravinas ou canais (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005).

O processo de formação e desenvolvimento de ravinas pode, em algumas situações, relacionar-se aos tipos de uso da terra, sobretudo em áreas que sofreram a retirada da vegetação primária. A erosão das vertentes, particularmente aquelas destituídas da cobertura vegetal, associada à precipitação e ao fluxo superficial, frequentemente causa a formação de uma rede de ravinas subparalelas (IBGE, 2009, p. 107).

“A voçoroca é um canal inciso, relativamente profundo, de paredes verticais, recém-formado em uma vertente, onde nenhum canal bem definido anteriormente existia” (RODRIGUES, 2014, p. 66). O autor mencionado destaca ainda que as voçorocas de áreas tropicais possuem paredes quase verticais e podem conter afloramento do lençol freático em seu fundo. Esse fluxo pode conter variações extremas de vazão ao longo do ano, principalmente nos eventos de chuva mais intensa.

O principal fator associado ao desenvolvimento desse tipo de erosão é o escoamento subsuperficial, gerado por processos de canalização interna de fluxos, gerados por discontinuidades texturais no solo, ou presença de crostas lateríticas, fenômenos que dificultam a percolação e favorecem o escoamento lateral. Esse escoamento lateral pode interceptar a superfície do terreno, gerando extrafiltração e ponto de ruptura e abatimento do terreno (RODRIGUES, 2014, p. 67-68).

Com relação aos mecanismos de evolução o autor supracitado acrescenta que as voçorocas evoluem basicamente pelo recuo de suas paredes, seja na cabeceira ou nas paredes laterais. Isso pode ocorrer pela mudança repentina das condições de estabilidade das paredes, principalmente em períodos de chuvas fortes por efeito de cachoeira atuando na base das mesmas. Em menor proporção ocorre o recuo da cabeceira não ligado diretamente à ação da água, estando associada a deslizamento das paredes, semelhantes a queda de blocos. O recuo das paredes pode variar em magnitude e intensidade em virtude também de outros fatores como o tempo de ação do escoamento na base e características físicas do material.

As voçorocas, ao contrário das ravinas, são feições erosivas relativamente permanentes com paredes laterais íngremes, que experimentam fluxos durante as chuvas torrenciais, estando quase sempre associadas à erosão acelerada.

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. [...] No caso dos solos, tanto a mudança na quantidade de energia disponível (intensidade e frequência de precipitações, teor de umidade dos solos, etc.) quanto à alteração das características do sistema (uso do solo, cobertura vegetal, grau de estruturação, etc.) podem levar a uma situação de desequilíbrio entre energia disponível e capacidade de dissipação de energia (OLIVEIRA, 2014, p. 58).

Sobre este aspecto Araújo; Almeida; Guerra, (2005, p.90), destacam ainda que o desgaste contínuo da base da voçoroca leva ao seu aprofundamento e alargamento, enquanto o desgaste das cabeceiras prolonga o canal para áreas ainda não atingidas pela voçoroca aumentando assim a rede de canais e sua densidade através do desenvolvimento de tributários.

Neste contexto, o crescimento urbano de forma desordenada e a consequente ocupação intensiva das encostas tornam as cidades cada vez mais suscetíveis a fenômenos como a erosão devido à falta de planejamento e estudo prévio destas áreas (GUERRA, 2011).

Silva (2011), conclui ainda que os diversos problemas ambientais relacionados aos solos e ao relevo que ocorrem em áreas urbanas têm como principal motivo a ocupação de encostas e fundos de vale. Afirma também que parte dos problemas urbanos que ocorrem hoje no Brasil, e em vários locais do mundo, é oriunda do processo de ocupação da terra. Sendo estes problemas potencializados quando se ocupa desordenadamente encostas e áreas de várzea as respostas da natureza se refletem em perdas da qualidade de vida, materiais e vidas humanas.

2.5 Fatores Condicionantes dos Processos Erosivos

Os condicionantes dos processos erosivos são influenciados por fatores como a precipitação, infiltração, cobertura vegetal, características das encostas e propriedades do solo. Destacam-se por serem os principais determinantes da intensidade dos processos erosivos (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005; GUERRA, 2015).

Neste sentido, a ação humana interfere na dinâmica natural do sistema ambiental, normalmente acelerando a velocidade de mudança da condição natural. A erosão acelerada do solo provoca a perda de materiais, desorganizando sua estrutura e levando a degradação deste importante recurso natural (SANTORO, 2009).

Além do fator antrópico existem outros fatores que influenciam na erosão, representados por forças ativas (chuva, comprimento do declive do terreno e capacidade de absorção de água) e forças passivas (densidade da cobertura vegetal e a resistência que o solo exerce contra a ação da água) (GAMA; OLIVEIRA, 2011).

Conforme os autores mencionados, no estudo da erosão do solo, a chuva é um dos fatores climáticos de maior importância considerando três aspectos fundamentais: a frequência, a intensidade e a duração da chuva. Quanto maior a quantidade de chuva que cai em determinado tempo, maior a perda por erosão. Quando os intervalos entre as frequências das chuvas são curtos, a umidade do solo é alta, ocasionando um volume maior de enxurradas.

A erosividade constitui a potencialidade da chuva de causar erosão. Porém, dados de chuva em totais, médias mensais ou anuais são poucos significativos em relação à avaliação da erosão, sendo a intensidade o fator pluviométrico mais importante a ser considerado. Devido à escassez de registros ou à inexistência de estações meteorológicas, tem sido frequente o procedimento de correlacionar o índice de erosão a fatores climáticos que não requerem registros de intensidade de chuva. Este é o caso da utilização da equação que calcula a média mensal do índice de erosão a partir dos registros de precipitação média mensal e precipitação média anual, o que evidencia a importância de séries históricas de precipitação média mensal para a investigação da erosividade, quando não houver registros da intensidade da chuva (IBGE, 2009, p.109).

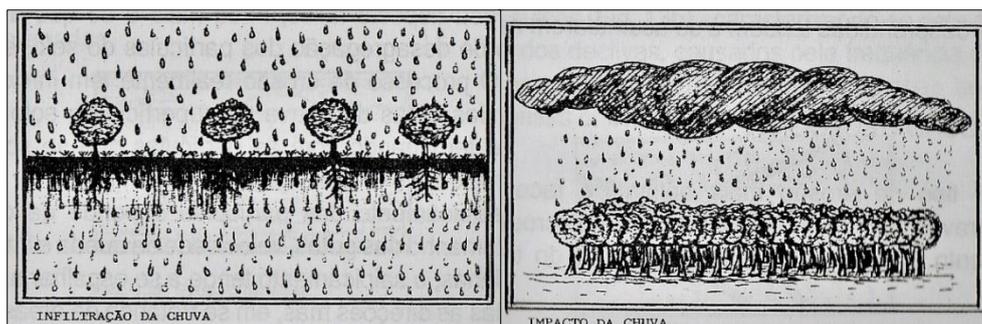
A infiltração é o processo de entrada de água que penetra no solo através da sua superfície. O tamanho dos poros e sua disposição no solo tem uma grande influência na velocidade de infiltração da água no solo. A velocidade de infiltração em solos arenosos, os quais apresentam maior quantidade de macroporos, é mais alta que em solos argilosos, onde há predomínio de microporos.

O termo infiltração foi proposto por Horton (1933) para expressar a água que molha ou que é absorvida pelo solo. Este processo resulta das relações de interdependência dos mecanismos de entrada na superfície do solo.

Para Guerra (2015), as taxas de infiltração variam ao longo de um evento chuvoso, mas variam também de acordo com as características do solo. Outros fatores relacionados à cobertura vegetal também podem influenciar os processos erosivos de várias maneiras seja por meio dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos da energia cinética da chuva, e do papel da vegetação na formação de húmus.

A densidade da cobertura vegetal é fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial, e na perda de solo. O tipo e percentagem de cobertura vegetal podem reduzir os efeitos dos fatores erosivos naturais. A cobertura vegetal pode, também, reduzir, a quantidade de energia que chega ao solo durante uma chuva, minimizando os impactos das gotas e reduzindo também a formação de crostas no solo (GUERRA, 2015, p. 161) (Figura 5).

Figura 5 - Ilustração representativa da densidade da cobertura vegetal



Fonte: GAMA; OLIVEIRA (2011, p.36).

Este mesmo autor reforça que a cobertura vegetal, além de influenciar na interceptação das gotas de chuva, atua diretamente na produção de matéria orgânica, que por sua vez, atua na agregação das partículas constituintes do solo.

Conforme Guerra (2014b), à medida que os agregados se rompem no topo do solo, vai ocorrendo a formação de crostas, que eventualmente provocarão a selagem do solo. Isso faz, segundo o autor mencionado, que haja uma mudança de processos: de grande destacamento (*detachment*) e baixo transporte, antes de se iniciar o *runoff*, para baixo destacamento e alto transporte, durante o escoamento superficial.

A remoção da vegetação por agentes antrópicos ou naturais geralmente resulta na aceleração da erosão, ao contrário de quaisquer outras medidas que preservem ou melhorem o estabelecimento da vegetação que retardará significativamente a perda de solo e minimizará a erosão.

Segundo o relatório do IBGE (2009), a cobertura vegetal constitui um dos mais importantes fatores controladores do processo erosivo, tendo em vista a função protetora que a mesma exerce sobre o solo. Sua influência se observa na atenuação da energia cinética da chuva sobre a superfície para a proteção do solo, para a formação de húmus e, conseqüentemente, no teor e estabilidade de agregados.

Neste sentido, Araújo, Almeida e Guerra (2005), resumem que a proteção à erosão consiste essencialmente de diminuir as forças de tração ou de arrasto, diminuindo a velocidade do fluxo d'água sobre a superfície ou dissipando a energia da água em uma área protegida, e aumentar a resistência à erosão através da proteção da superfície com uma cobertura adequada ou pelo aumento da força de ligação entre as partículas.

As características das vertentes que podem afetar a erosão dos solos dizem respeito à declividade, bem como ao comprimento e à forma que elas apresentam. A importância da declividade e do comprimento das vertentes para a erosão é atribuída à influência que estes fatores exercem sobre a velocidade e o volume do escoamento superficial. A forma das vertentes, por sua vez, atua direta e indiretamente no escoamento superficial e na erosão, com importantes implicações para o balanço de materiais e natureza dos processos.

A Erodibilidade do solo é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente. Esses processos são influenciados pelas propriedades do solo, assim como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos (LAL, 1988 *apud* VITTE e MELLO, 2007).

A Erodibilidade indica o potencial ou o grau de facilidade com que um determinado solo pode ser erodido, é uma característica intrínseca do solo. Solos mais arenosos, em geral, são mais facilmente erodidos que os solos argilosos [...] (SANTORO, 2009, p.60).

Para Morgan (2005), a Erodibilidade define a resistência do solo ao desprendimento e ao transporte, é também um importante fator que varia de acordo com a textura do solo, a estabilidade dos agregados, a resistência ao cisalhamento, capacidade de infiltração, e seu conteúdo orgânico e químico.

Assim, o conjunto das características dos solos, que, em grande parte, depende da rocha de origem (substrato rochoso) e de sua evolução ao longo do tempo, sob ação do clima e das formações vegetais, determinam a suscetibilidade dos terrenos à erosão.

A resistência que o solo exerce a ação erosiva da água está determinada por diversas de suas características ou propriedades físicas e químicas, e pela natureza e quantidade do seu revestimento vegetal.

Os fatores controladores são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão (erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das encostas). É por causa da interação desses fatores que certas áreas erodem mais do que outras. A intervenção do homem pode alterar esses fatores e, conseqüentemente, apressar ou retardar os processos erosivos (GUERRA, 2015, p. 150 - 151). (FIGURA 6).

Figura 6 - Fatores controladores do Processo Erosivo



Fonte: Guerra (2015, p. 150), elaborado por Sousa, (2018).

As Propriedades do solo representam o conjunto de características que, interagindo com outros fatores, afetam sua erosão, ou seja, determinam a maior ou menor suscetibilidade erosiva. A natureza do solo é um dos fatores que exerce maior influência sobre o material erodido e esta depende essencialmente das propriedades física e química, especialmente textura, estrutura e permeabilidade, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH.

A erodibilidade, definida como a resistência do solo tanto à remoção como ao transporte, está primeiramente condicionada às propriedades do solo, dependendo, secundariamente, da posição topográfica, do gradiente da vertente e do montante da perturbação antrópica, o que a torna essencialmente dinâmica no decorrer do tempo.

A erodibilidade de um solo está relacionada à sua suscetibilidade à erosão. Independente das condições de declividade, chuva e manejo, alguns solos erosionam mais que outros e essas diferenças ocorrem em função das propriedades de cada solo, caracterizando a erodibilidade do solo (GAMA; OLIVEIRA, 2011).

Portanto, a avaliação conjunta destes fatores supracitados podem revelar diversas características sobre a suscetibilidade dos solos aos processos erosivos e nortear ações de prevenção e controle dos mesmos.

2.6 Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise

A bacia hidrográfica representa uma unidade de análise fundamental na Geomorfologia, configurando o sistema através do qual a água e os sedimentos são transportados para o oceano ou lago interior, desse modo se constitui na superfície de coleta e armazenagem da precipitação. Sua utilização como recorte espacial básico para os estudos ambientais tem sido proposta por muitos autores, tendo em vista que as alterações decorrentes das interferências humanas sobre o ambiente refletem-se na bacia hidrográfica como um todo (IBGE, 2009).

Desta forma, as bacias hidrográficas constituem-se como áreas mais convenientes para o planejamento e gestão dos recursos hídricos por formarem um sistema aberto de fluxo hídrico que envolve um amplo conjunto de elementos dinâmicos incluindo a presença antrópica que possui importância fundamental nesse contexto devido à forma utilitarista em que os recursos naturais são utilizados (ROCHA, 2008).

No que se refere aos componentes naturais de caracterização de uma bacia e de ocupação humana, destaca-se que:

A dinâmica da drenagem ao longo do tempo geológico promove mudanças na topografia do terreno, aumentando ou diminuindo as rugosidades, os aclives e declives permitindo certa evolução do relevo. No entanto, a ocupação desordenada do território contíguo das bacias hidrográficas, com rápidas mudanças decorrentes das ações humanas, acelera os desequilíbrios nos solos, nas vertentes e encostas, nos vales fluviais e em toda a drenagem da bacia (ROCHA, 2008, p. 3).

Portanto, conforme Coelho Netto, (2015) os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou causados pela ação humana tendem a se refletir num determinado ponto de saída de uma bacia de drenagem, podendo se propagar a jusante por meio de bacias adjacentes. São aspectos que conforme a autora devem ser levados em consideração no planejamento das formas de intervenção humana, esclarecendo que a bacia de drenagem é uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre diferentes áreas podendo afetar tanto o planejamento local como o regional.

2.7 Pesquisas sobre os Processos Erosivos no Maranhão

Estudos anteriores sobre Erosão dos solos foram desenvolvidos na Ilha do Maranhão e em outras porções do Estado maranhense trazendo temas que envolvem o diagnóstico, prognóstico e recuperação de áreas degradadas por processos erosivos. Estas publicações envolvem desde trabalhos acadêmicos como dissertações e teses a periódicos publicados nas principais revistas eletrônicas, todos estes de muita relevância para a literatura nacional e internacional e que servem de parâmetros para estudos posteriores.

Na década de 2000 foi publicada uma tese de doutorado sobre a “Susceptibilidade à Erosão dos Solos no alto curso do rio Açailândia – Maranhão” (MARÇAL, 2000). A autora demonstra com esse trabalho diversos fatores que contribuem para a ocorrência de processos erosivos na área de estudo, sendo que um dos principais seria a ocupação rápida e desordenada aliada aos fatores naturais do meio físico como exemplo a ocorrência de solos mais arenosos que conforme o estudo estão associados aos Latossolos. Desta forma, a tese também apresenta os setores mais críticos e de maior susceptibilidade à erosão coincidindo com as áreas urbanas e industriais do município justamente em função da ocupação humana desordenada. A autora afirma ainda que as mudanças na paisagem estão caracterizadas pela expansão de grandes voçorocas principalmente nas áreas periféricas da cidade submetidas ao intenso desmatamento para ocupação das encostas.

A mesma autora também apresenta um capítulo de livro intitulado “Processo de Urbanização e Mudanças na Paisagem da Cidade de Açailândia (Maranhão)” Marçal; Guerra, (2010). Esta publicação também enfatiza outros fatores relacionados à degradação ambiental do município que segundo os autores o problema da erosão ocorre há mais de 20 anos. A periferia da cidade é a mais atingida por ravinas que evoluem para voçorocas de grandes dimensões, provocando a derrubada de casas e destruição de ruas, ampliando assim a quantidade de pessoas desabrigadas a cada período chuvoso.

Também no ano de 2010, outra tese foi publicada com tema “Evolução das voçorocas na Ilha do Maranhão – uma abordagem pedogenética para recuperação de áreas degradadas” Sathler, (2010). Por meio de diversos levantamentos, trabalhos de campo, coletas de amostras e análises laboratoriais o autor observou algumas similaridades entre as áreas de estudo, especificamente as bacias hidrográficas dos rios Bacanga e a bacia do rio Jaguarema. As várias feições erosivas ocorrem sobre encostas de topos tabulares, sobre Neossolos Quartzarênicos, com declividades entre 3% e 8%, em muitos casos sobre áreas côncavas do terreno, muito comum também sobre solos expostos.

A segunda Tese sobre processos erosivos no município de São Luís, intitulada “Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA” (BEZERRA, 2011). Nesta pesquisa o autor buscou relacionar as características geomorfológicas da área de estudo com os processos erosivos em avançado estágio de evolução, abordando também os aspectos da fragilidade ambiental. Foi realizado também o monitoramento de estação experimental e a reabilitação de área degradada por meio de técnicas de bioengenharia de solos com uso de geotêxteis produzidos pela própria comunidade do entorno da voçoroca estudada.

O mesmo autor publicou em parceria com outros autores no ano de 2016 um capítulo de livro sobre a “Granulometria por difração a laser dos sedimentos Superficiais nas áreas degradadas por voçorocamento na bacia do rio Bacanga” (BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M., 2016). Este trabalho foi desenvolvido com o apoio e financiamento da CAPES, CNPq e FAPEMA. A pesquisa inicialmente enfatiza a erosão por voçorocas e suas diversas causas e mecanismos que atuam em diferentes escalas tanto temporais como espaciais. Aborda também uma síntese do processo de ocupação urbana de São Luís ressaltando o surto industrial a partir da metade do século XVIII passando pelo crescimento demográfico expressivo nas décadas de 70 a 90 que estão atrelados segundo os autores aos movimentos migratórios da época. Com relação aos aspectos geoambientais da bacia do rio Bacanga são apresentados dados e informações sobre a Geologia, Pedologia,

Geomorfologia e Hidrografia. Bezerra (2011), concluiu que diversas ações conjugadas contribuem para a ocorrência dos processos erosivos na área com destaque para a ação da chuva, dos ventos, e a ação antrópica sobre uma formação sedimentar mal consolidada e friável. A granulometria dos sedimentos coletados demonstrou uma forte correlação com as formações geológicas (Formação Barreiras constituída essencialmente de arenitos) e pedológicas (Argissolos vermelho-amarelo com laterita, Argissolos vermelho-amarelo, Neossolos regolíticos, Gleissolos e Neossolos quartzarênicos) além do inadequado manejo do solo.

Outro trabalho de grande relevância para a pesquisa em Geografia no Estado do Maranhão tem como destaque a tese de doutorado intitulada “Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão” desenvolvida por Silva (2012a). A referida pesquisa traz um conjunto de dados e informações sobre o relevo da Ilha do Maranhão a partir dos níveis taxonômicos, apresenta também o quadro geoambiental da referida área, o mapeamento dos compartimentos do relevo e a caracterização das geoformas e dos processos morfogenéticos e morfodinâmicos responsáveis pela formação e esculturação das morfologias. É um trabalho de suma importância e tem servido para embasamento de outros estudos e áreas afins como no caso dos processos erosivos, estudo do solo e sua relação com a dinâmica da sociedade e natureza.

As pesquisas desenvolvidas pelo GEOMAP⁹ desde o ano de 2014 têm contribuído para o levantamento de áreas degradadas na Ilha do Maranhão, especialmente nos municípios de São Luís e São José de Ribamar, com trabalhos que envolvem a Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Bacanga (LISBOA, 2014); Análise da Erodibilidade das Áreas Degradadas por Erosão (LISBOA, 2015); Análise da erodibilidade dos solos na bacia do rio Anil (LEÃO, 2016). Análise das propriedades físicas dos solos degradados por voçorocamento na Ilha do Maranhão (SOUSA, 2016); Mapeamento Geomorfológico do baixo curso da bacia do rio Anil (PORTELA, 2017); Monitoramento de áreas degradadas por voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Bacanga (LISBOA; BEZERRA e MORAIS, 2018); Inter- relações entre a granulometria e processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Anil (SOUZA, *et al.*, 2018); Análise de Propriedades Físicas e Morfológicas dos Solos (SANTANA, 2018); Os níveis Taxonômicos das Unidades de Relevo do Baixo Curso da Bacia do Anil (TEIXEIRA, 2018).

⁹ Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Mapeamento do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão.

Além de relatórios técnicos e de iniciação científica os resultados das pesquisas também são publicados em periódicos com temas sobre o “Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Bacanga, município de São Luís – MA” (MORAIS, *et al.*, 2014); “Análise morfológica das áreas degradadas por voçorocamento na bacia do rio Bacanga - São Luís/MA” (LISBOA *et al.*, 2014). “Monitoramento dos processos erosivos por voçorocamento no município de São José de Ribamar, Ilha do Maranhão (MA)” (VIANA, *et al.*, 2014).

Trabalhos mais específicos são publicados em anais dos principais eventos científicos sobre Geografia Física e envolvem aspectos sobre a caracterização dos processos erosivos: “Análise da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade de um Neossolo Regolítico sob diferentes processos erosivos na bacia do rio Bacanga - São Luís/MA” (LISBOA; VIANA e BEZERRA, 2015); “Análise das propriedades físicas dos solos em áreas degradadas por voçorocamento na Ilha do Maranhão” (SOUSA; COSTA; SILVA e BEZERRA, 2015); “Caracterização granulométrica dos solos em processos erosivos na bacia do rio Anil, Ilha do Maranhão” (SOUZA; PORTELA; LISBOA e BEZERRA, 2017); “Erodibilidade dos solos e declividade da bacia do rio Anil”; (COSTA e BEZERRA, 2018). Riscos geomorfológicos urbanos (TEIXEIRA; SOUSA; SILVA e SANTANA, 2018).

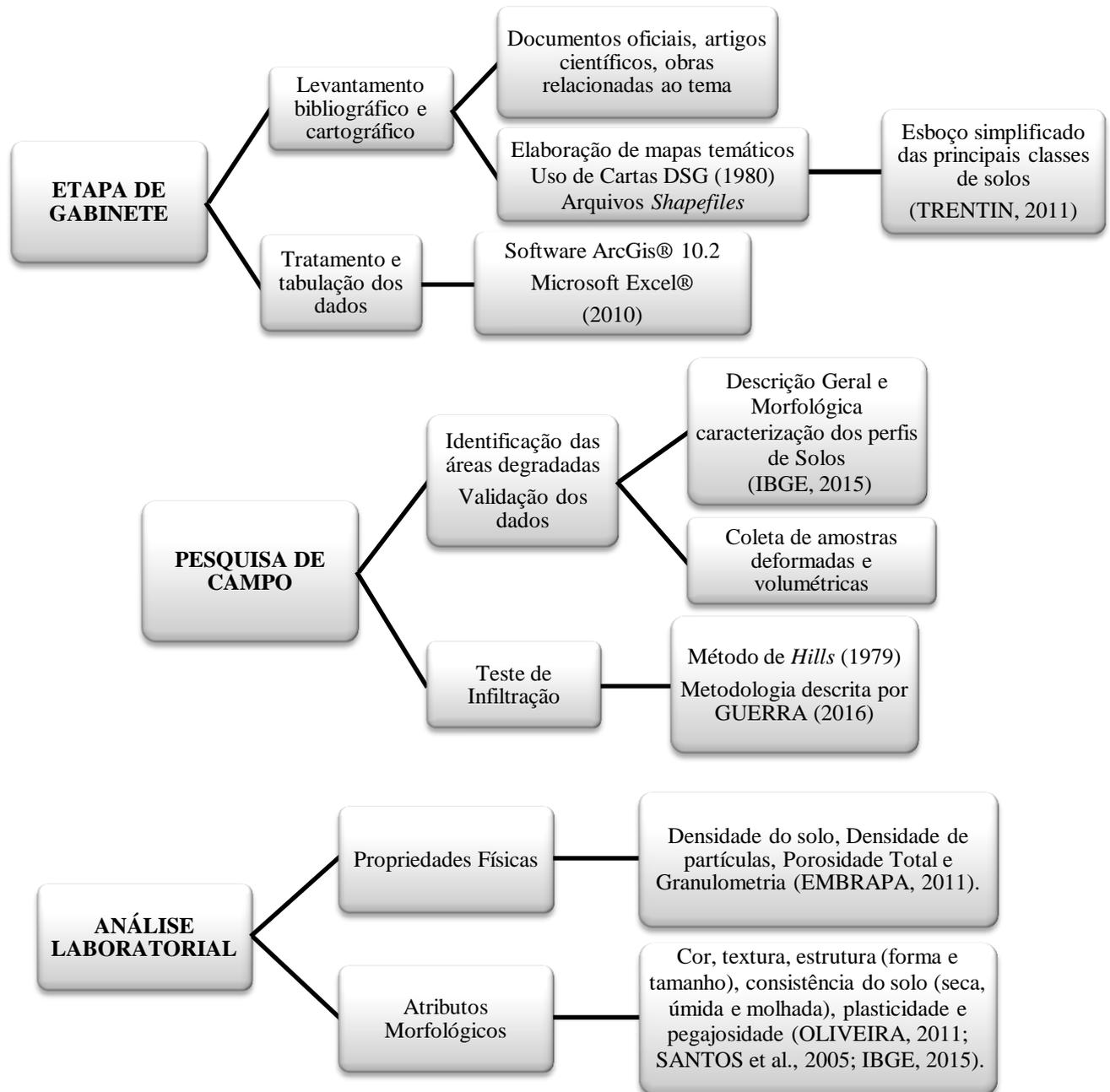
Todos estes trabalhos trazem diversas contribuições para o entendimento dos processos erosivos no Estado do Maranhão além de aspectos que envolvem a pesquisa em Geomorfologia, Mapeamento e diagnóstico de áreas degradadas¹⁰.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O processo de investigação científica requer uma estreita relação entre a teoria e os métodos de investigação. Os cuidados com os métodos e sua interpretação devem considerar também as relações entre o teórico e o objeto real, operacionalizados ou não pelos métodos e técnicas utilizadas. Neste sentido, os procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa foram orientados com base em etapas específicas detalhadas no esquema metodológico (Figura 7).

¹⁰ O grupo de pesquisa também atua no levantamento e produção de dados sobre enchentes, inundações, alagamentos e áreas de risco a movimentos de massa.

Figura 7 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pela autora.

❖ Levantamentos bibliográfico e cartográfico

A realização desta etapa foi norteada através da análise de capítulos de livros, teses, dissertações e material cartográfico, que contribuíram para o levantamento de temas de suma relevância para a fundamentação teórica da pesquisa com destaque para os processos erosivos, fatores controladores, a ação da água nas formas erosivas (GUERRA, 2011), impactos ambientais em áreas urbanas (GUERRA e CUNHA, 2010), degradação ambiental, tipos de erosão hídrica, importância da geomorfologia no diagnóstico de áreas degradadas (ARAÚJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005), degradação de solos no Brasil (GUERRA; JORGE, 2014), geomorfologia urbana, solos urbanos, encostas urbanas, Antropogeomorfologia urbana (GUERRA; SILVA; BOTELHO; JORGE e SANTOS FILHO, 2011; RODRIGUES, 2005, 2010, 2015), controle e prevenção dos processos erosivos (SALOMÃO, 2014).

Como referencial local foram utilizadas informações da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA (1998a, 1998b), e mais especificamente com a temática da pesquisa foram consultados os trabalhos de Bezerra (2011) que realizou pesquisa sobre a reabilitação de áreas degradadas por voçorocamento em São Luís. O trabalho de Silva (2012a) sobre a Geomorfologia da Ilha do Maranhão contribuiu para o entendimento de vários aspectos sobre a dinâmica destes processos e sua relação com outras características fisiográficas da região. Também foram utilizados artigos adquiridos junto ao portal de periódicos das principais revistas nacionais e internacionais sobre a temática da pesquisa.

❖ Pesquisa de campo

Os trabalhos de campo serviram para o reconhecimento e visualização da problemática ambiental e dos aspectos geoambientais existentes na área objeto de estudo. A caracterização dos perfis de solos e coleta de amostras em campo (Figuras 8 e 9) tiveram como base os procedimentos e técnicas de pedologia de Santos, *et al.*, (2005), Oliveira (2011), IBGE (2015) e EMBRAPA (2018).

Foram selecionados cinco pontos inseridos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil com ocorrência de feições erosivas do tipo: erosão laminar,

sulcos, ravinas e voçorocas. O critério de escolha dos pontos de amostragem levou em consideração o fato de ser uma área considerada por Lei como Zona de Reserva Florestal sujeita a restrições de uso e ocupação, além da grande incidência de feições erosivas na referida área e sua proximidade com uma rodovia estadual (MA 207) de ligação entre diversos bairros e comunidades do entorno.

As amostras volumétricas foram coletadas com auxílio de anel de bordas cortantes com capacidade para 100 cm³, além da utilização de outros itens auxiliares como GPS e trena. No total foram coletadas 13 amostras volumétricas utilizadas para as análises de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total e 18 amostras deformadas com objetivo de realizar a análise granulométrica e textural. Estas etapas ocorreram nos meses de Outubro de 2016; Março, Abril, Julho, Outubro e Novembro de 2017; Janeiro, Maio e Julho de 2018, totalizando 11 trabalhos de campo.

a) Identificação dos perfis de Solo

O exame do perfil de solo no campo constitui uma etapa fundamental no processo de caracterização morfológica e textural considerando que o solo apresenta características próprias e que devem ser estudas com critérios que permitam inferências importantes sobre sua formação e seu comportamento em relação ao uso (SANTOS, *et al.*, 2005).

Figura 8 – Exame do perfil de solo



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 9 - Registro do perfil de solo e coleta de amostras deformadas



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Não foi possível estender os pontos de coleta para as áreas de Tabuleiros com topos planos que ocupam uma pequena porção do setor Leste da área de estudo devido à inviabilidade de descrição do perfil em decorrência da densidade de ocupação e consequente impermeabilização do solo no local.

b) Morfologia do solo

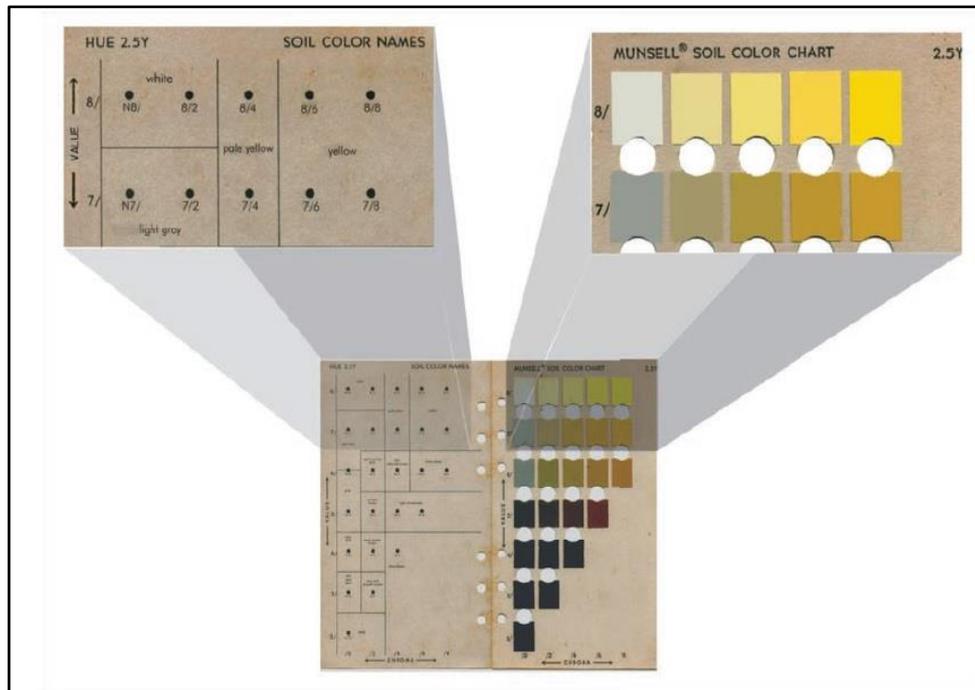
As descrições morfológicas obedeceram alguns critérios e requisitos onde foram observadas várias características: cor, textura, estrutura, consistência, espessura e transição dos horizontes.

De acordo com Lepsch (2010), a cor deve ser descrita em comparação com uma escala padronizada. Para tanto utilizou-se a carta de “Munsell” (2009) (*Munsell Soil Color Char*) considerando os três elementos básicos: matiz, valor e croma (Figura 10).

É possível efetuar algumas correlações entre a cor do solo e os processos atuantes no mesmo. A partir da cor é possível inferir quanto ao conteúdo de matéria orgânica, que em geral, quanto mais escura maior seu conteúdo; tipificação de óxidos de ferro que dão origem a cores avermelhadas e amareladas; cores neutras e acinzentadas indicam solos mal drenados. É conveniente quebrar os agregados ou torrões para

determinar se existem diferenças neste parâmetro dentro dos elementos desta estrutura (SANTOS, *et al.*, 2005).

Figura 10 - Arranjo de notações e padrões de cores do solo



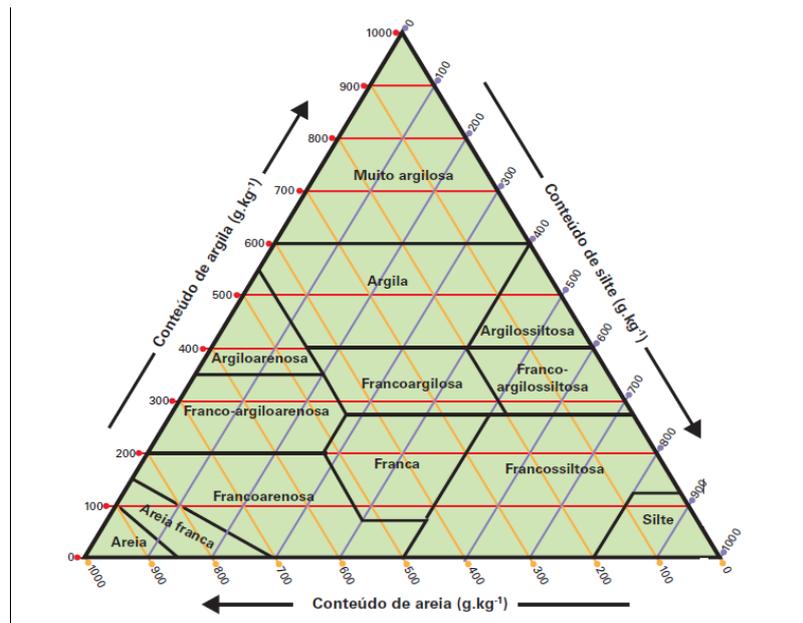
Fonte: IBGE (2015, p.61).

Outro parâmetro analisado é a textura que na pedologia refere-se à proporção relativa das frações areia, silte e argila. A relação entre a análise granulométrica e a classe textural do solo é normalmente indicada por um triângulo de classe textural (Figura 11).

“Recomenda-se que o conteúdo dos separados do solo sejam apresentados em g.Kg^{-1} . A correspondência entre porcentagem dos separados e a forma recomendada é a seguinte: porcentagem dos separados $\times 10 = \text{g.Kg}^{-1}$ ” (FREIRE, 2006, p.15).

No campo as proporções das frações granulométricas são estimadas pelas sensações táteis. Um solo arenoso tende a ser mais áspero em que os grãos de areia são mais facilmente observados a olho nu. Os teores de silte são percebidos devido à sensação de sedosidade, esteja ele úmido ou seco, não sendo possível visualizar suas em campo. A fração argila confere maior plasticidade e pegajosidade que as frações areia e silte. (SANTOS, *et al.*, 2005).

Figura 11 - Diagrama das Classes Texturais do Solo



Fonte: Desenvolvido pela U. S. D. A. (1951) *apud* IBGE (2015, p.72).

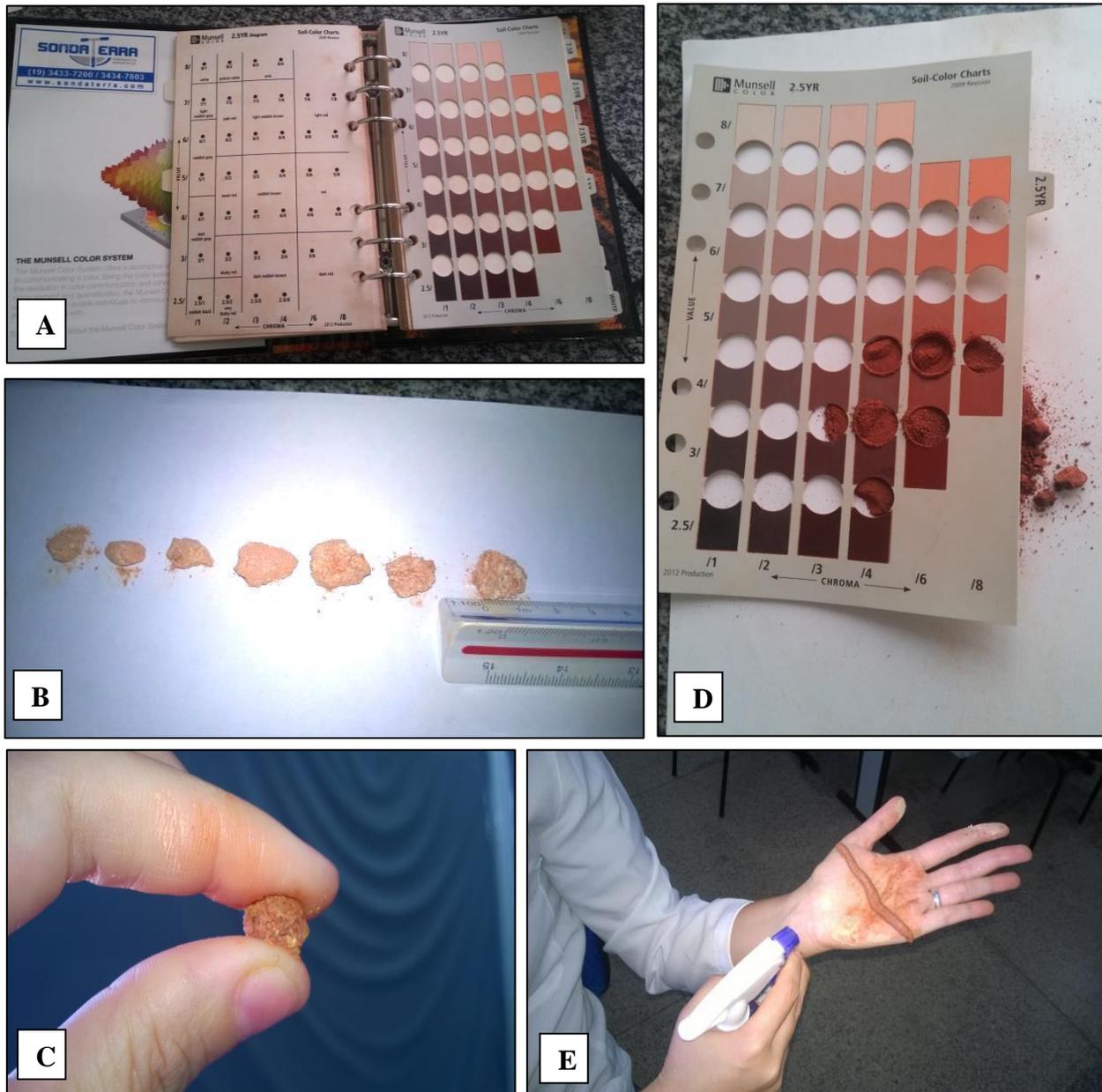
Os agregados do solo foram descritos de acordo com sua forma, tamanho e grau de consistência da estrutura (Figuras 12 e 13).

Figura 12 - Principais tipos de estruturas e formas de arranjo do solo

Material de solo agregado					
Tipo	Subtipo	Exemplo	Tipo	Subtipo	Exemplo
Granular	Granular		Prismática	Prismática	
	Grumosa				
Blocos	Angulares			Colunar	
	Subangulares				
Laminar			Paralelepípedica		
Cunciforme					
Material de solo não agregado					
Tipo		Exemplo	Tipo		Exemplo
Grãos simples			Maciça		

Fonte: IBGE (2015, p.77).

Figura 13 - Procedimentos de análise morfológica



A – Carta de Munsell; B – Identificação do tamanho e forma dos agregados; C – Verificação consistência do agregado; D – Observação da cor, matiz e croma; E – Análise da plasticidade e pegajosidade da amostra. **Fonte:** SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

a) Infiltração de água no solo

A compreensão da infiltração de água no solo permite entender a atuação dos processos e mecanismos de erosão, que tem sua origem no desequilíbrio hidrológico ocasionado pela ocupação do solo, quase sempre acompanhado pela remoção da cobertura vegetal (DIRANE, *et al.*, 2009).

Nesse sentido, os testes foram realizados baseados no método do infiltrômetro de anel *Hills* (1970) e a metodologia descrita baseada em Guerra (2015).

Com o auxílio de um martelo ou marreta, o infiltrômetro que consiste de um cilindro metálico de 15 cm de altura por 10 de diâmetro foi inserido 5 cm no solo e afixado uma régua graduada nos 10 cm internos restantes do instrumento. Em seguida, adiciona-se água dentro do infiltrômetro, marcando o tempo com um cronômetro e anotando a profundidade da água, a cada minuto na régua até completar os 30 minutos de experimento (Figura 14).

Figura 14 - Elaboração do teste de infiltração



A – Fase inicial do ensaio; B – Controle do tempo de infiltração da água no solo.
Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

❖ Análise laboratorial

As análises das amostras coletadas em campo foram realizadas no Laboratório de Geociências do Curso de Geografia na Universidade Estadual do Maranhão. Os procedimentos metodológicos adotados para as análises das propriedades físicas dos solos seguiram as orientações do manual de análise de solo da EMBRAPA (2011), e dos métodos de Blake; Hartge (1986) e Bowes (1986).

Foi possível analisar os seguintes parâmetros de erodibilidade: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria. Estas análises foram fundamentais para o estudo das propriedades físicas dos solos das áreas afetadas por processos erosivos na bacia do rio Anil.

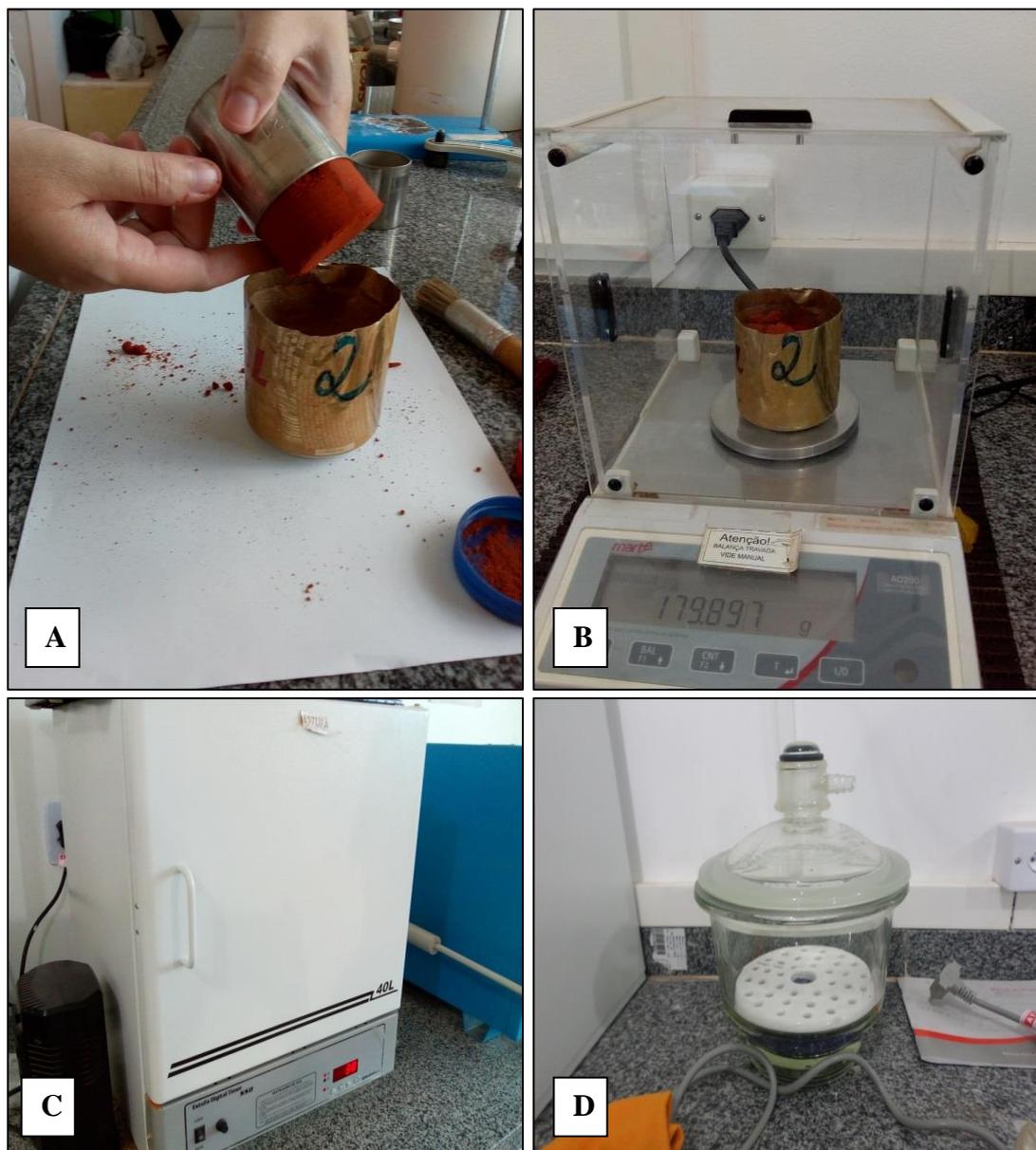
O método usual para determinação da densidade envolve a obtenção de uma amostra de volume conhecido por meio de anéis volumétricos inseridos no solo com o uso de equipamento apropriado. A massa da amostra é obtida por pesagem em balança analítica após remoção da umidade em estufa a 105°C até peso constante. Esse método, denominado “Método do anel volumétrico”, é o mais usado em trabalhos de avaliação da densidade de solo (Blake e Hartge, 1986; EMBRAPA, 2011).

Apesar de ser um método simples e relativamente rápido, exige cuidado durante a obtenção da amostra para se evitar sua deformação ou sua ruptura. Seu maior limitante, no entanto, é a necessidade da inserção do anel no solo por pressão, o que só é possível em solos ou horizontes livres de corpos rígidos maiores que a fração areia, como cascalhos, calhaus ou raízes grossas (VIANA, 2008, p. 2).

a) Densidade do solo

A determinação da densidade do solo foi realizada através das amostras indeformadas. O procedimento utilizado consistiu em dispor as amostras em recipiente de alumínio, de peso conhecido e anotado. Estas foram então, levadas à estufa por 24 horas, a uma temperatura de 105° C (Figura 15).

Figura 15 - Procedimentos para análise da densidade do solo



A – Retirada de amostra do anel volumétrico; B – Identificação do peso úmido da amostra; C – Estufa para secagem das amostras com regulagem de tempo e temperatura; D – Dessecador para auxiliar no processo de resfriamento da amostra.
Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

O tratamento dos dados obtidos consistiu em dividir o valor do peso das amostras secas a 105° pelo volume do anel coletor que é de 100 cm³ obtém-se o valor da densidade do solo em (g/cm³):

$$D_s = a/b$$

Onde:

D_s – densidade do solo (g/cm³);

a – massa da amostra seca a 105°C (g);

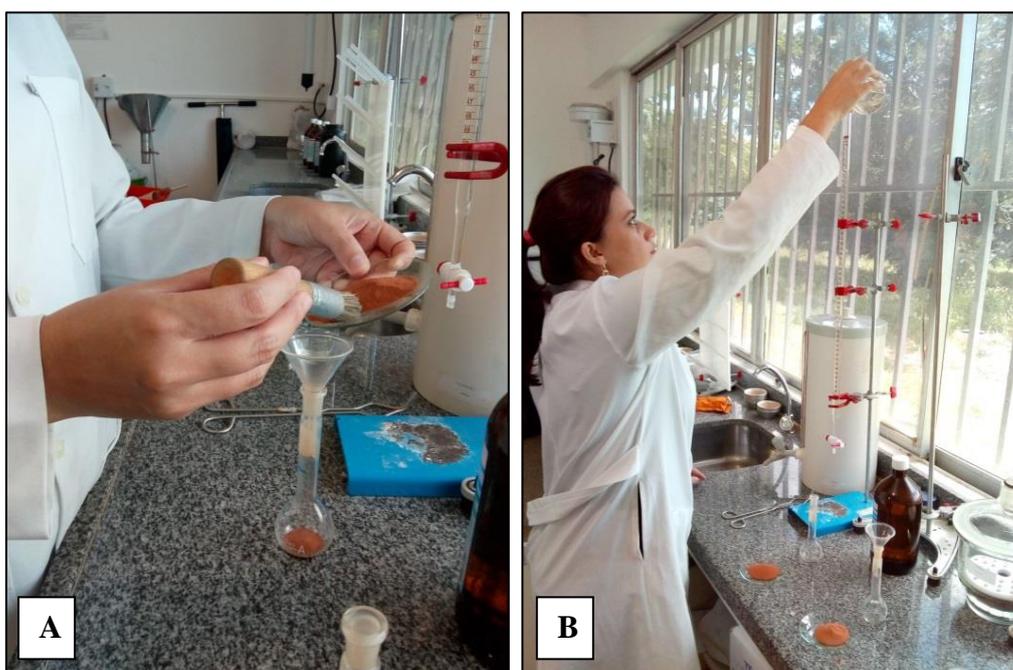
b – volume do anel ou cilindro (cm³).

b) Densidade de partículas e porosidade total

A densidade de partículas de um solo pode variar de acordo com seu conteúdo de umidade, seus valores variam em média, entre os limites 2,3 e 2,9 g/cm³ (KIEL, 1979).

O resultado obtido na determinação da densidade de partículas de um solo representa a média ponderada da densidade de partículas de todos os seus componentes minerais e orgânicos. A análise da densidade de partículas foi realizada com álcool etílico absoluto, balão volumétrico com capacidade para 50 ml e 20g de amostra de solo, conforme a proposta da Embrapa (2011) (Figura 16).

Figura 16 - Procedimentos para determinação da densidade de partículas



A – Disposição da amostra em balão volumétrico; B – Aplicação de álcool etílico absoluto em bureta graduada.

Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Ao término do procedimento, dividiu-se o peso da amostra seca pelo respectivo valor de álcool gasto, indicado na bureta, obtendo-se o valor da densidade de partículas em (g/cm³):

$$V = 50 - L \text{ (50 ml de álcool)}$$

Onde: L – Soma da leitura do nível do álcool utilizado na bureta

$$D_p = 20/V$$

Onde: D_p – densidade de partículas (g/cm^3)

20 g de TSFE (Terra Seca Fina em Estufa)

v – Volume de álcool gasto.

Através dos parâmetros de densidade do solo e da densidade de partículas foi possível obter os valores de porosidade das amostras de solo por meio de cálculo matemático:

$$\text{Porosidade Total (\%)} = 100 (a-b) / a$$

Onde: a – densidade de partícula;

b – densidade do solo.

c) Análise Granulométrica

Para determinar a porcentagem, em peso, que cada separado, de tamanho preestabelecido, possui em relação à massa total da amostra, foi necessário efetuar, em laboratório a análise granulométrica.

Através do método da pipeta foi realizada esta análise, que segundo a Embrapa (2011), baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon).

As frações grosseiras (areia fina e grossa) foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. Foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.

Os procedimentos utilizados para o ensaio de granulometria consistiram de preparação de amostras deformadas e operações preliminares como descritos a seguir:

1) Preparo da Solução NaOH 1N (Hidróxido de Sódio)

Misturou-se 40 gramas de NaOH 1N (Hidróxido de Sódio) em 1 litro de água destilada. Agitou-se a solução para dissolverem todos os cristais e tornar a solução homogênea. Foi necessário deixar esfriar para utilizá-la.

2) Preparo da amostra

As amostras secaram completamente ao ar livre (Figura 17), após este processo foi realizado o destorroamento para eliminação de possíveis torrões ou cascalhos.

Figura 17 - Amostras indeformadas dispostas para secagem natural



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

3) Ataque das amostras

Pesou-se 20 gramas da amostra e transferiu-se para recipiente com 10 ml de solução NaOH 1N (Hidróxido de Sódio) e 100 ml de água destilada. Agitou-se a amostra com bastão de vidro que ficou em repouso por uma noite.

4) Temperatura da amostra

Para saber o tempo de sedimentação das amostras na proveta foi necessário aferir a sua temperatura (Tabela 1).

Tabela 1 - Temperatura e tempo de sedimentação das amostras

Temperatura °C	Tempo	Temperatura °C	Tempo
10	5 h 11'	23	3h 43'
11	5 h 03'	24	3h 38'
12	4 h 55'	25	3 h 33'
13	4 h 47'	26	3 h 28'
14	4 h 39'	27	3 h 24'
15	4 h 33'	28	3 h 19'
16	4 h 26'	29	3 h 15'
17	4 h 20'	30	3 h 10'
18	4 h 12'	31	3 h 07'
19	4 h 06'	32	3 h 03'
20	4 h 00'	33	2 h 58'
21	3 h 54'	34	2 h 55'
22	3 h 48'	35	2 h 52'

Fonte: EMBRAPA (2011, p.48).

5) Processo de sedimentação

Após uma noite de descanso, agitou-se a amostra durante 5 minutos, tempo recomendado para solos arenosos, transferiu-se o conteúdo agitado para lavagem do material retido na peneira de malha de 20 cm de diâmetro e abertura de 0,053 mm (ASTM n° 270) com água destilada sobre as partículas de solo disposta sobre funil e logo abaixo uma proveta com capacidade para 1000 ml para receber o líquido. Completou-se a proveta com os exatos 1000 ml, agitou-se a suspensão durante 20 segundos que passou pelo processo de repouso conforme o tempo determinado na tabela de temperaturas (Figura 18).

Figura 18 - Amostras em proveta graduada após o processo de lavagem

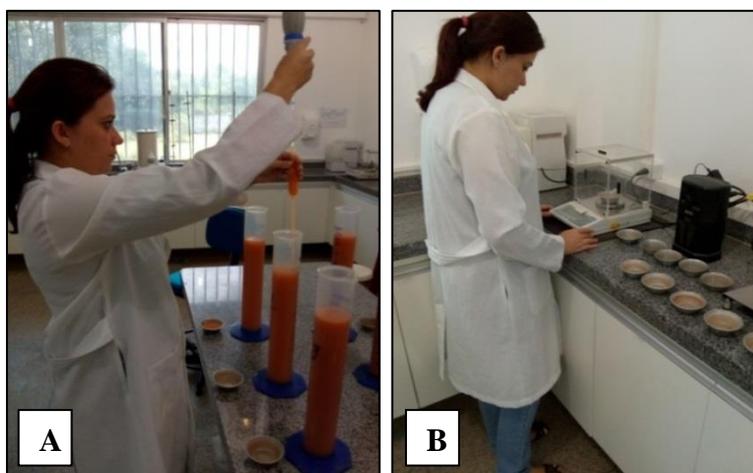


Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

6) Retirada das alíquotas de argila

Após o tempo de sedimentação retirou-se as alíquotas da lavagem da proveta com o auxílio de uma pipeta de 50 ml a uma profundidade de 5 cm na suspensão, posteriormente colocou-se o material em cadinho de peso conhecido e anotado. As alíquotas foram levadas para estufa por 24 horas a uma temperatura de 100 graus ou até evaporar completamente a solução. Ao final colocaram-se as alíquotas no dessecador e procedeu-se a pesagem do material retirando com pincel todos os resíduos de solo do recipiente (Figura 19).

Figura 19 - Procedimentos para obtenção das alíquotas de argila



A – Retirada das alíquotas de argila com auxílio de pipetador;
B – Pesagem das alíquotas em balança analítica.

Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

7) Retirada das alíquotas de areia

Após as partículas de areia ficarem completamente uniformes transferiu-se toda a amostra para recipiente numerado e de peso conhecido retirando o excesso de água (Figura 20). Estas foram levadas a estufa a 100 graus por um período de 3 a 5 horas até a água evaporar completamente. Após a secagem e resfriamento das amostras com auxílio do dessecador e realizou-se a pesagem para obtenção do valor de areia total, que consistiu no somatório de areia grossa e areia fina.

Figura 20 - Procedimento para obtenção das alíquotas de areia



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Em seguida passar a amostra na peneira de 20 cm de diâmetro e malha 0,2 mm (ASTM nº 70), pesar o que ficar retido nesta malha para obtenção dos valores referentes à areia fina (Figura 21). O valor da areia grossa é obtido pela diferença da areia total com a areia fina.

Figura 21 - Separação de areia grossa e areia fina



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

- 8) Expressões para cálculo das frações granulométricas adaptados de USDA (1972):

Argila (%)

$$[(A + T) - T] * 100 = +2$$

Onde:

A - Argila;

T - Tara.

Areia Total (%)

$$AT \text{ (gramas)} * 100 = 20 * X$$

SILTE (%)

$$100 - (AT + A) = \text{SILTE}$$

Onde:

AT – Areia Total;

A – Argila.

❖ **Elaboração dos mapas temáticos**

Para realização do mapeamento temático da área de estudo utilizou-se o *software* ArcGis^{®11} *for Desktop Advanced*, versão 10.2, licença EFL999703439. Todos os produtos gerados foram georreferenciados e vetorizados.

Esta etapa teve como base o uso de cartas DSG/ME – MINTER¹² (Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército) referentes ao ano de 1980 e que correspondem as folhas nº 13, 14, 22 e 23 na escala 1:10.000.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, houve a necessidade de se fazer atualização das curvas de nível, da drenagem e do limite do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil. Uma vez atualizados os *shapefiles* foram modificados seguindo o novo limite. A partir da atualização de todos os *shapes*, os mapas foram finalizados, seguindo novos padrões de cores e legendas.

Foram elaborados os mapas de localização e situação geográfica, delimitação dos bairros, classes de solos, uso e cobertura da terra, formações geológicas, unidades de relevo, declividade, hipsometria, curvatura do terreno e hierarquia de drenagem, e como produto final foi elaborado um esboço simplificado das classes de solos para o baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, onde através destes, foi possível identificar as características geoambientais da área objeto de estudo e subsidiar a discussão teórica sobre os aspectos naturais e sua relação com os processos erosivos atuantes.

O mapa de localização e situação das áreas com ocorrência de processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil foi elaborado a partir da validação dos dados obtidos por meio dos trabalhos de campo, análise da imagem de satélite e das análises em laboratório. A partir destas informações geradas e estudando os locais, levando em consideração o relevo e o uso e cobertura do local, marcaram-se os pontos no GPS, gerando a localização das áreas com processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil.

O mapa de delimitação dos bairros foi gerado a partir de arquivo *shapefile* conforme a base de dados do Secid/MA (2011) sendo identificado dentro do recorte espacial da área um total de 42 bairros que compõem a área de estudo.

¹¹ ArcGIS é uma marca registrada ESRI Inc.

¹² As cartas DSG-ME-MINTER estão disponíveis no portal do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA).

Os mapas de classes de solos, geologia, unidades de relevo e hierarquia de drenagem foram produzidos por meio de mapeamentos já realizados conforme base de dados¹³ de Silva (2012a), Bezerra (2011) referentes às curvas de nível (com intervalos de 5 metros), limite da área de estudo e arquivos no formato *Shapefiles* para caracterização dos principais elementos que compõem a paisagem estudada.

A **elaboração do mapa de uso e cobertura** foi realizada através da classificação supervisionada de imagem de alta resolução¹⁴ da área de estudo referente ao ano de 2009. Esta técnica consiste na extração de amostras de pixel para ajudar o software a interpretar a imagem de forma automática, proporcionando uma classificação mais aferida. O procedimento consiste em adicionar a imagem de trabalho, posteriormente foi criado um vetor de polígono para edição das amostras.

Conforme a identificação de possíveis classes nas imagens é necessária inserir na tabela de atributos um novo *ID* e uma *Class* para cada conjunto de amostras. Posteriormente às coletas e à estruturação da tabela de atributos, é necessário transformar o vetor em estatística para a classificação. Após a finalização do processo, é possível inserir a imagem a ser classificada que consiste no arquivo de assinatura criado anteriormente.

Os mapas de declividade e hipsometria foram produzidos por meio de curvas de nível da área de estudo, posteriormente foi gerado um raster da bacia como entrada na ferramenta *Slope* do *ArcGis*®, assim gerando uma Rede Irregular Triangular (TIN) que consiste em uma carta com graduações de declividade em valores de porcentagem. Para a criação do arquivo “*TIN*” utilizou-se a ferramenta *Arctoolbox*. Após a edição e seleção da área de interesse foram definidas cinco classes com intervalos de cinco metros. As cores foram modificadas na opção *Color Ramp* com graduações que variam do verde até o vermelho.

Após a criação do TIN é necessário realizar ajustes. Assim, na tabela de atributos, sobre o TIN com o botão direito do mouse clicou-se em propriedades – symbology. Nesta opção removeu-se a opção *edgetypes* e *elevation*, e adicionou-se a opção *face slopwhite*, que corresponde à declividade. Ainda nesta etapa, escolhe-se a escala de cor e as classes de declividade conforme a área de estudo. Ao final de todos os

¹³ Grande parte dos arquivos foi adquirida junto ao banco de dados do grupo de Pesquisa Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP do curso de Geografia/UEMA.

¹⁴ Fonte: PMSL - Prefeitura Municipal de São Luís. Documentação aerofotogramétrica de São Luís - 1973 a 2010. São Luís: PMSL, 2014.

procedimentos, o mapa passou para o *layout view* do programa, onde foi realizado o processo de aprimoramento visual do mapa.

Segundo Valeriano (2008, p.21), “modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel”. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo, idealmente, para que o MDE seja uma representação da topografia. Embora existam MDE de origens diversas, as curvas de nível constituem uma importante fonte de dados para sua construção.

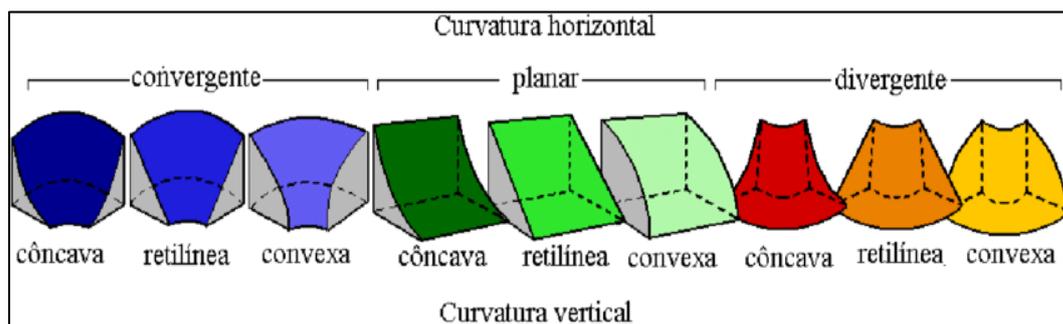
O mapa de curvatura vertical e horizontal é de fundamental importância no que diz respeito aos processos erosivos. No entanto, a elaboração deste mapa requer muita atenção, pois foram necessárias 9 (nove) etapas, descritas a seguir.

É necessária a criação do *TIN*, o qual foi elaborado anteriormente para a geração dos mapas hipsométrico e declividade. Posteriormente, foi transformado para o formato *raster*, em seguida para formato estatístico e transformação da representação da forma e da curvatura em perfil e em plano. Vale ressaltar que este procedimento gera três arquivos, o de curvatura, curvatura em plano e curvatura em perfil. Através do cruzamento destes 3 (três) arquivos, obtêm-se como resultado os 9 (nove) tipos de formas de vertentes.

Após a criação destes arquivos, os mesmos passam por um processo de reclassificação, realizado para os arquivos de curvatura plana e curvatura em perfil. Depois de todos os procedimentos anteriormente realizados em *arctoolbox – spatialanalyst tools–mapaalgebra – rastercalculator*, soma-se os dois últimos arquivos gerados, o de curvatura em plano e curvatura em perfil.

Após este somatório realizou-se o processo de classificação de vertentes. Em *open attribute table* – adicionou-se um *field* e começa-se a classificação das vertentes, com base em Valeriano (2008), no qual aparecem os três tipos de vertentes que representam as curvaturas horizontal e vertical do terreno associadas, desta forma são nove classes (Figura 22).

Figura 22 - Classes de forma de terreno



Fonte: Valeriano (2008).

Após esta classificação o formato *raster* foi convertido em polígono, objetivando calcular a área das vertentes e através da ferramenta *dissolve* apareceram os tipos de vertentes presentes na área.

Os perfis topográficos foram traçados a partir da função *Interpolate Polygon* no *ArcMap 10.2*. Na opção *Create Profile Graph* na mesma barra de ferramentas foi realizada a criação e edição dos gráficos com os perfis transversais da área e seus respectivos valores de altitude e distância em metros.

O esboço simplificado das principais classes de solos foi realizado mediante a correlação das informações do Mapa de Solos na escala 1:60.000 referente à área de estudo conforme a base de dados de Silva (2012a), em conjunto com os mapas de Unidades de Relevo e de Declividade do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, também na escala 1:60.000.

É importante ressaltar que, na área de estudo não existe mapeamento pedológico de detalhe, neste sentido, justifica-se a elaboração do esboço simplificado, de acordo com os pontos de observação e amostragem realizados em campo.

Conforme explicitado na Tabela 2 foi realizada uma adaptação das classes de solos propostas por Trentin (2011)¹⁵ e as associações dos solos basearam-se nos atributos das classes do 1º e 2º nível categórico conforme o SiBCS (EMBRAPA, 2018): solos desenvolvidos - associação Latossolos; solos rasos a desenvolvidos - associação Argissolos Vermelho-Amarelos; solos rasos - associação Neossolos Quartzarênicos; solos hidromórficos – associação Gleissolos e Gleissolos Tiomórficos.

¹⁵ TRENTIN, R. Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu - oeste do Rio Grande do Sul - Brasil. 2011. 220 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Tabela 2 - Classes de solos propostas por Trentin (2011) adaptadas para a área de estudo

CLASSES DE SOLOS PROPOSTAS POR TRENTIN (2011).	CLASSES DE SOLOS ADAPTADAS PARA A ÁREA DE ESTUDO
Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas arenosas	Solos desenvolvidos
Solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas	Solos rasos a desenvolvidos
Solos rasos de altitudes elevadas	Solos rasos
Solos hidromórficos	Solos hidromórficos

Fonte: Elaborado pela autora.

4 EXPANSÃO URBANA E ASPECTOS DA PAISAGEM NO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL EM SÃO LUÍS – MA

Este capítulo busca fazer um resgate do processo histórico de formação e consolidação da cidade de São Luís e seus principais aspectos considerando também o contexto que envolveu a apropriação da bacia hidrográfica do rio Anil além das características geoambientais locais.

4.1 Expansão Urbana, Uso e Cobertura da Terra

O processo de ocupação do município de São Luís, na Ilha do Maranhão ocorreu nas proximidades do Forte de São Luís. Neste sentido, a urbanização de São Luís que ocorrera entre os anos de 1612 a 1960, praticamente limitava-se ao entorno de um único sistema viário, conhecido como Caminho Grande, que ligava o Centro ao bairro industrial do Anil, se estendendo até a cidade de São José de Ribamar (BELFORT, 1998 *apud* SOUZA, 2005).

Através da instalação da Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão (CGGPM), a cidade teve seu primeiro salto econômico-urbanístico. A CGGPM operou entre 1755 e 1778, importando e exportando mercadorias para a Europa (MEIRELES, 2001 *apud* SOUZA, 2005).

O espaço urbano em 1750 estava compreendido entre a Praia Grande, o Largo do Carmo e o Desterro, expandindo-se para as atuais ruas, de Santana, Grande, da Paz, do Sol e dos Afogados até o ano de 1800. A partir de então foram construídas estradas ligando o principal bairro aos seus arredores, como o anil, atual João Paulo, Vinhais e Calhau, além de algumas fábricas (TROVÃO, 1997; RIBEIRO Jr.,2001, *apud* SOUZA, 2005).

A apropriação da bacia do Anil começou na primeira metade do século XIX, nas imediações da Praia Grande, atual centro histórico de São Luís, que está inserido na margem esquerda do rio próximo a sua foz. A partir da segunda metade do século XIX foram construídas estradas ligando o centro aos atuais bairros do Anil, João Paulo e Vinhais, contribuindo para a descentralização urbana.

Segundo Brito; Watanabe (2016), adaptado de Burnett (2008), houve dois períodos distintos de urbanização da cidade, com fases diferenciadas e que estão relacionadas à ocupação do território e crescimento populacional (Figura 23).

Figura 23 - Fases de Urbanização em São Luís-MA

URBANIZAÇÃO TRADICIONAL EM SÃO LUÍS			
FASE	PERÍODO	TÍTULO	CARACTERÍSTICAS
1ª fase	1612-1750	Início e consolidação da ocupação portuguesa	Fracasso da colonização portuguesa/ Invasões francesa e holandesa.
2ª fase	1750-1820	Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão e a vocação comercial	Primeiro surto de desenvolvimento econômico; polarização da economia no eixo São Luís/ Belém.
3ª fase	1820-1900	Expansão industrial e o parque têxtil	Imprecisão acerca do contingente populacional da época; Perfil econômico.
4ª fase	1900-1965	Integração à economia nacional e renovação urbana	Estagnação econômica por volta de 1920/ declínio da produção têxtil.
URBANIZAÇÃO MODERNISTA EM SÃO LUÍS			
1ª fase	1965-1980	Os grandes projetos nacionais e a urbanização fordista	Processo de expansão urbana/ novas vias urbanas; implantação dos grandes projetos minero-metalúrgicos (atração de mão-de-obra e explosão populacional).
2ª fase	1980-2000	Crise urbana e os polos de urbanização	Falência dos programas de moradia subsidiada/ estagnação urbana/ oferta de áreas para loteamentos populares (ocupação espontânea de vazios urbanos).

Fonte: Brito; Watanabe (2016, p.4) adaptado de Burnett (2008).

Até a década de 1960 esta urbanização estava limitada ao entorno do eixo viário chamado caminho grande, que ligava o centro a São José de Ribamar, acompanhando a margem esquerda do rio, descendo em direção aos manguezais. Assim nasceram bairros como Liberdade, Monte Castelo, Alemanha, Caratitua e Jordoa.

No final dos anos 1960 e início dos anos 1970 houve um intenso êxodo rural movido a conflitos no campo, o que fez aumentar rapidamente a população de São Luís, resultando na exclusão social, porque a economia da época não foi capaz de absorver toda essa intensa mão de obra.

Assim, no fim dos anos 1960 a cidade começou a se expandir ao longo do espaço correspondente ao divisor de águas Anil-Bacanga, entretanto a irregularidade topográfica e a valorização econômica destes espaços favoreceram a “descida” da população mais carente em direção aos manguezais (TROVÃO, 1997 *apud* SOUZA, 2005).

No período entre a ocupação da ilha e a década de 1960, o Anil teve um papel de fundamental importância no desenvolvimento de São Luís, servindo como meio de comunicação, e via de transporte de diversos gêneros, produtos agrícolas e matéria-prima para indústrias, como as fábricas de tecidos da Camboa e Anil e até bem pouco tempo, para a Merck no bairro de Ivar Saldanha.

Souza (2005) pressupõe que o ano de 1970 foi o marco inicial da ocupação maciça da bacia do Anil em virtude das atividades antropogênicas que tiveram uma intensificação a partir desta década.

Neste contexto sobre a dinâmica da ocupação espacial de São Luís destaca-se que:

Dos anos 50 até meados da década de 80, a ocupação urbana de São Luís foi induzida pelos investimentos públicos em infraestrutura - seja em escala regional (rodovias), seja em escala local (sistema viário, habitação, etc.) - e pelos assentamentos espontâneos na periferia. Nos anos 90/2000, a ocupação urbana foi regulada pelo planejamento urbano e definida pelo urbanismo espontâneo dos assentamentos e pela arquitetura de mercado. Os investimentos públicos, neste período, voltaram-se para a qualificação das infraestruturas existentes (INSTITUTO DE PESQUISA E PLANIFICAÇÃO DA CIDADE, 2006, p.88).

Aprovado após a desestruturação das políticas nacionais de planejamento e habitação, o Plano Diretor de 1992 assumiu um caráter regulador, em uma cidade que cresceu entre o urbanismo espontâneo de habitações autoconstruídas e a arquitetura voltada para os nichos de mercado imobiliário.

Os conjuntos habitacionais implantados nas décadas de 70/80 (empreendimentos de COHAB/BNH¹⁶), entregues sem a infra-estrutura necessária (rede e coleta e tratamento do esgoto) e sem a urbanização dos espaços públicos, consolidaram-se em sub-centros, com residências padronizadas, comércio e serviços. Destacam-se ainda algumas situações de ocupação privada irregular das áreas institucionais e áreas verdes remanescentes destes conjuntos.

A bacia hidrográfica do rio Anil, inserida no centro urbano da capital São Luís, é umas das mais prejudicadas em decorrência do grande crescimento populacional registrado entre as décadas de 70 e 90, quando a população da cidade apresentou uma expressiva expansão demográfica (LABOHIDRO, 1980 *apud*, ALCÂNTARA, 2004).

O rio Anil se chamava “Maioba”, nome dado pelos tupinambás. Entretanto, suas margens eram povoadas por uma planta chamada Anil, originária das Índias, sendo também encontrada no Maranhão, conhecida como cachaussu ou cauçu pelos índios. O nome da planta, conhecida cientificamente como *Indigofera tintórica*, tem origem do Árabe An-il, que significa azul, e recebe esse nome devido à tintura da mesma cor extraída de suas folhas,

¹⁶ O BNH foi uma empresa pública brasileira que tinha a sua sede em Brasília, e era voltado ao financiamento e à produção de empreendimentos imobiliários, nos mesmos moldes do que se faz atualmente a Caixa Econômica Federal. Sua criação se deve pela Lei nº 4.380, de 21 de agosto de 1964, de autoria da Deputada Sandra Cavalcanti, que depois fora nomeada sua primeira presidente. O Banco foi extinto através do Decreto-Lei nº 2.291, de 21 de novembro de 1986, o qual foi incorporado à Caixa Econômica Federal, sucedendo em todos os seus direitos e obrigações, sobretudo, na gestão do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço. Estava vinculado na época da extinção ao Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.

mundialmente conhecida como índigo blue, usada para tingir o jeans. O rio passou a se chamar Anil a partir de 1730, devido à substância azul desprendida das folhas de Anil, que tingiam suas águas de azul (D'ABEVILLE, 2002; ITAPARY, 1995 *apud* SOUZA, 2005. p.63).

Segundo Macedo (2003), do bairro Anil para o Sul existia uma única via de acesso ao aeroporto Marechal Cunha Machado no bairro do Tirirical, nas imediações do qual estavam os córregos e brejos formadores do rio Anil. Com o desmatamento das imediações do aeroporto, esses brejos e córregos secaram; a partir daí a nascente do rio transferiu-se para um brejão bem mais ao norte, onde atualmente encontra-se o populoso bairro da COHAB, 21 km à jusante do que anteriormente considerou - se a nascente do rio. Com a construção do conjunto Cohab-Anil, obviamente os mananciais que existiam desapareceram provocando mais um encurtamento no curso do rio.

Atualmente as suas nascentes estão localizadas no bairro Aurora, sendo que a partir desta área a sua formação como riacho se torna ininterrupta, entretanto, muitos autores consideram sua nascente histórica.

Conforme Cardoso e Gonçalves (2010), o processo de ocupação das terras à margem esquerda do rio foi efetuado pela população de baixa renda, enquanto as terras localizadas à direita da margem foram consolidadas a partir da construção de pontes e vias públicas, gerando assim a especulação imobiliária da área devido à proximidade com o litoral. Como consequência desse processo e da atuação humana no ambiente, surgem diversos problemas dentre os quais é importante destacar a poluição das águas superficiais, através do despejo de dejetos industriais e domésticos diretamente no rio. Outra situação observada é a obstrução do leito do rio como resultado do intenso processo de erosão, transporte e assoreamento observados em diferentes pontos da bacia (Figura 24).

Ainda sobre o processo de formação do espaço urbano de São Luís afirma-se que:

Algumas obras permitiram a ocupação de novas áreas como a construção das pontes José Sarney (ligando o centro da cidade ao São Francisco) e a Bandeira Tribuzzi (ligando o centro ao Jaracaty) ambas sobre o Rio Anil ligando a margem esquerda (ocupação antiga) à margem direita (novas áreas de ocupação) e a construção da Barragem do Bacanga (ligando o centro à área Itaqui Bacanga onde se localiza a região portuária da cidade e os complexos industriais), que vão permitir esse avanço populacional para essas “novas” áreas (MOREIRA, 2013, p. 46).

De acordo com o INSTITUTO DE PESQUISA E PLANIFICAÇÃO DA CIDADE (2006), na década de 1990, as áreas de interesse ambiental do município foram delimitadas e formalizadas em lei, sejam como Zonas de Proteção Ambiental

(ZPA), de acordo com o Plano Diretor de 1992, sejam como Áreas de Proteção Ambiental (APA's), municipais, estaduais e particulares.

Apesar da criação destas Zonas, outra característica do crescimento urbano da cidade de São Luís foi o comprometimento dos recursos naturais, com o lançamento de esgotos domésticos e industriais in natura nos rios, o assoreamento dos rios que abastecem a capital, retirada de areia para a construção civil, a expansão dos assentamentos espontâneos¹⁷ em áreas de proteção ambiental (em particular, na margem esquerda do Rio Anil, no Parque Estadual do Bacanga e na APA do Itapiracó) e a continuidade do processo histórico de aterramento do mangue (INSTITUTO DE PESQUISA E PLANIFICAÇÃO DA CIDADE, 2006).

Figura 24 - Aspecto de trecho do alto curso do rio Anil no bairro Pirapora em processo de obstrução de suas margens



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Além destes problemas, a expansão do sistema viário, sem a implantação de um sistema de drenagem, e o desrespeito às taxas de impermeabilização para as construções estipuladas pela Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (1992), desconsiderando os percursos naturais das águas, os aquíferos e a

¹⁷ Conforme o Art. 38. Da Seção III do Macrozoneamento Urbano de São Luís (Lei Municipal nº 4.669/06) são áreas habitadas, predominantemente, por população de baixa renda e baixo nível de escolaridade, que apresentam infraestrutura básica incompleta e deficiência de equipamentos e serviços urbanos, necessitando de investimentos públicos para fins de regularização fundiária, implantação de programas de habitação popular e equipamentos públicos que melhorem o padrão de qualidade de vida dos moradores.

vegetação existente, colaboram para a impermeabilização do solo, prejudicando a renovação dos lençóis freáticos e criando pontos de alagamento e erosão na cidade.

Desde os anos 1990, os assentamentos espontâneos têm ocupado áreas de encosta, de mangue e de talvegues, desvalorizadas pelo mercado, mas em São Luís, verificou-se a desconsideração pelas questões geotécnicas na implantação das infraestruturas habitacionais regulares. Esta situação foi agravada por iniciativas de desmatamento, por movimentações de terra (cortes, aterros e mineração) e por assentamentos agrícolas inadequados.

Neste sentido, considerando que a bacia hidrográfica do rio Anil é amplamente urbanizada e com um potencial ainda a ser explorado dentro dos seus limites, o direcionamento da ocupação e uso do solo para fins de urbanização, combinados com o não cumprimento dos critérios e normas do Plano Diretor do município contribuem para o atual quadro ambiental (Figura 25).

Figura 25 - Descarte irregular de Resíduos Sólidos Urbanos Domésticos



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Conforme a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA (1998a) foram mapeadas quatro classes que correspondem aos aspectos de uso e cobertura da terra do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil: vegetação de mangue, vegetação secundária mista, solo exposto e área construída (Figura 26 e Tabela 3).

Figura 26 - Mapa de Uso e cobertura da terra no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil

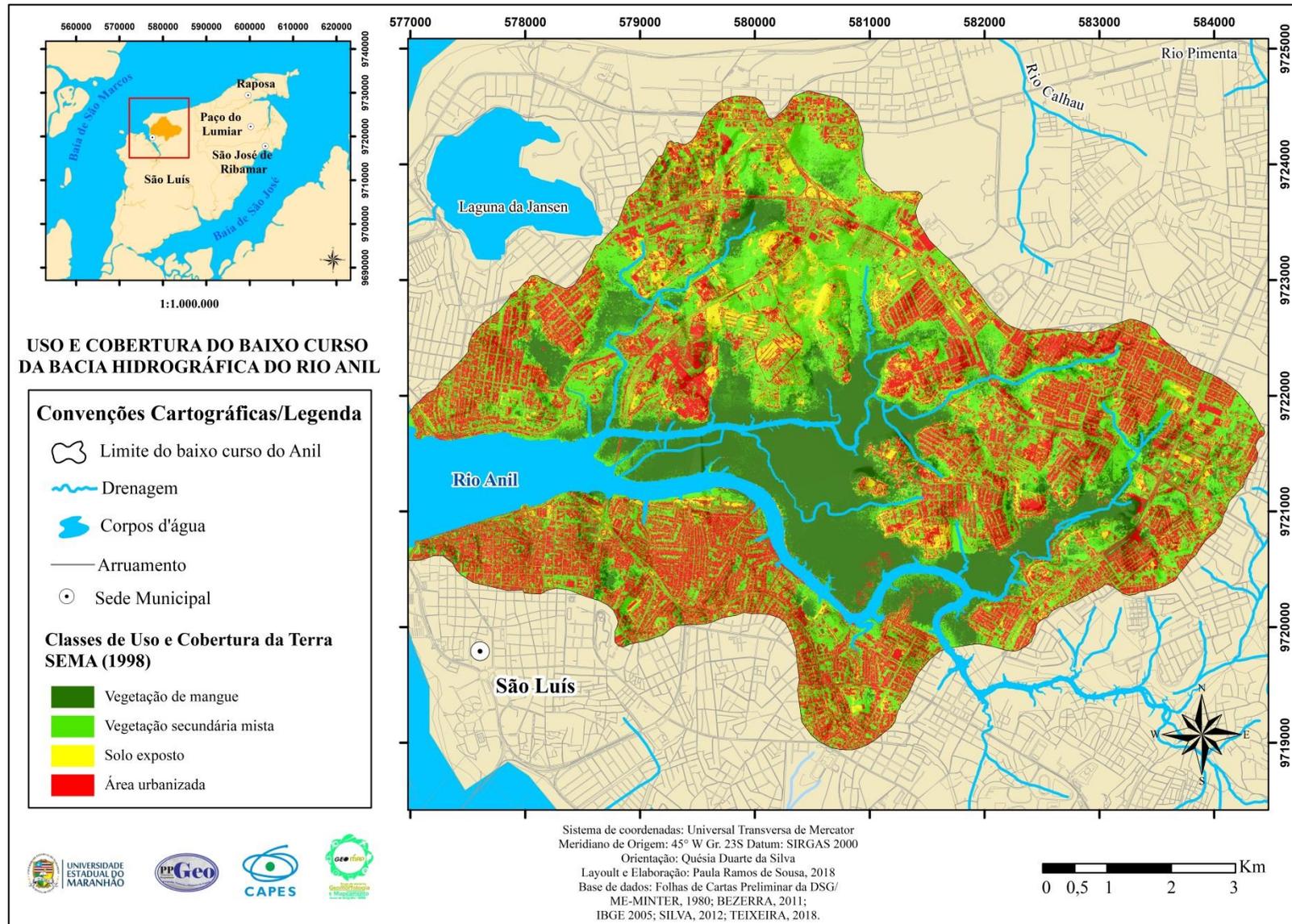


Tabela 3 - Valores absoluto e relativo das classes de Uso e Cobertura do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

Classes	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
Área Urbanizada	6,90	29,68
Solo Exposto	2,11	9,07
Vegetação Secundária Mista	9,32	40,06
Vegetação de Mangue	4,93	21,19
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA (1998a) a vegetação de mangue ocupa áreas significativas da costa, localizadas normalmente em ambiente salino e acompanhado às vezes, cursos d'água em trechos sujeitos à influência das marés. Como vegetação dominante cita-se o mangue-vermelho *Rhizophora mangle* L, que ocupa a linha costeira das desembocaduras dos rios, enquanto que a siriba - *Avicennia sp.*, forma uma segunda linha ocupando as margens dos rios até onde as marés influem. Somente este tipo de vegetação consegue se estabelecer e sobreviver neste ambiente salino e encharcado.

Embora se localize em terrenos alagadiços e seu uso seja restrito à ocupação, os manguezais têm sido desmatados e/ou aterrados para posteriormente serem implantadas palafitas e áreas de ocupação, mas também, órgãos de gestão e empreendimentos particulares. Portanto, as áreas de manguezais devem ser disciplinados os usos de seus recursos naturais e sua ocupação espacial, considerando o seu patrimônio biológico e cultural, em que se destaca a alta produtividade pesqueira (SEMA, 1998a, p. 74).

De acordo com a SEMA, (1998a) a vegetação secundária mista representa a cobertura vegetal oriunda “da devastação da floresta, por processos que vão desde o arrasamento da área [...] até a retirada das árvores com valor econômico”[...]. Adiciona-se a “ocorrência da vegetação secundária latifoliada [...] e as palmeiras”.

Ainda conforme a SEMA, (1998a), a categoria de uso área urbanizada é entendida como a que possibilita uma melhor representação da intensidade de ocupação do espaço. Portanto, corresponde àquelas áreas em que predominam usos residenciais padronizados (oriundos de financiamento oficial ou particular) ou áreas residenciais consolidadas, bem como áreas em que se destacam atividades terciárias. Estas últimas se relacionam aquelas áreas em que se verifica concentração e desenvolvimento de estabelecimentos comerciais e de serviços.

Macedo (2003) destaca algumas situações classificadas como críticas ou de risco, encontradas em setores localizados na bacia do Anil, como o caso do Sítio Santa Eulália (Figura 27), uma área verde relacionada ao centro do sítio urbano, além de zonas residenciais em expansão, submetida a intensivo processo de desmatamento para implantação de zona residencial que segundo o autor mencionado, foi projetada, porém não executada, sendo abandonada em seguida.

Figura 27 - Vista parcial do Sítio Santa Eulália com ocorrência de processos erosivos



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

De acordo com a Lei 3.253, de 29 de Dezembro de 1992 que dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano e dá outras providências o Sítio Santa Eulália se enquadra em uma Zona de Reserva Florestal:

Art. 97 - A Zona de Reserva Florestal destina-se exclusivamente à recreação pública, parque municipal, fins turísticos e jardim botânico.

Art. 98 - Na Zona de Reserva Florestal, todo e qualquer projeto deve ser analisado pela Prefeitura, conjuntamente com órgãos federais e estaduais afins com assuntos relativos a preservação ambiental (BRASIL, 1992).

O Sítio Santa Eulália apresenta significativo patrimônio natural, com vegetação densa de várzea e mangue, principalmente às margens do igarapé do Vinhais, que deságua no rio Anil. A área que deveria ser utilizada como um parque ambiental encontra-se atualmente em estado de abandono o que contribui ainda mais para a degradação ambiental local.

No fim da década de 80 e início de 90, durante o governo Cafeteira, houve uma intervenção drástica na área, cogitou-se a idéia de se construir um conjunto habitacional para baixa renda. O loteamento chegou a ser implantado, e iniciaram-se as obras de infra-estrutura, mas divergências políticas e a falta de recursos inviabilizaram a conclusão do empreendimento, restando apenas o arruamento e as obras de arte danificadas pelo tempo. Desde o ocorrido, nada mais foi realizado, nem a implantação de um parque, nem a consolidação do loteamento. Aos poucos, a vegetação foi ocupando o traçado do antigo loteamento, aumentando a massa arbórea. A área encontra-se abandonada e sobre ameaças no seu perímetro com o aumento da urbanização, ocupação irregular e poluição do seu principal curso d'água, o igarapé do Vinhais (BONTEMPO, 2008, p. 66-67).

Porém, um projeto de execução da Via Expressa (MA-207) de ligação das avenidas Carlos Cunha (Jaracaty), Jerônimo de Albuquerque e Daniel de La Touche (IPASE) - São Luís – MA foi aprovado em 2012. Segundo o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) realizado em 2010 por meio da Secretaria de Estado de Infraestrutura (SINFRA) o projeto previa a implantação e restauração de vias urbanas locais com uma extensão total de 9.795,96 m (ANEXOS D, E, F e G).

A Via Expressa em toda sua totalidade interliga os bairros: Renascença, Jaracaty, Santa Eulália, COHAFUMA, Vila Roseana, Parque Olinda, Vinhais Velho, Recanto dos Vinhais, Jardim Monterrey, Morada Nova e IPASE / Maranhão Novo.

Com relação à identificação, qualificação e avaliação dos impactos ambientais levantados no EIA o item que trata da exposição do solo (dessecação, lixiviação e erosão) em decorrência do desmatamento para implantação da via, foi classificado como insignificante de duração temporária e de pequena magnitude o que não corresponde com a atual situação da área em questão (Figura 28).

Baseado em Freitas, Ikematsu e Azevedo (2017), o planejamento do uso e ocupação do solo constitui um processo básico e contínuo de ordenamento espacial. Neste sentido,

Tem por referência o ambiente físico-territorial em que se desenvolvem as atividades humanas, para as quais o planejamento estabelece um conjunto de ações que se realimentam constantemente a partir de mudanças nas relações socioambientais. Compõem períodos que se alteram, suscitando novas

soluções e propostas alternativas, em procedimentos sucessivos de tomada de decisão. Essa conjuntura situa conceitualmente o termo geoambiental como expressão da interação do meio físico com os meios biótico e antrópico, configurando a inter-relação dos segmentos do meio ambiente (FREITAS; IKEMATSU; AZEVEDO, 2017, p. 73).

Figura 28 - Vista parcial da via Expressa – MA 207: em primeiro plano processo erosivo, ao fundo extensa área de mangue no baixo curso do Anil



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Os autores reforçam ainda que, a nova Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 1988, incorporou diretrizes gerais da política urbana, e transferiu a responsabilidade de sua aplicação para os municípios, a partir da elaboração do Plano Diretor Municipal (PDM), enquanto instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

Desta forma, o Plano Diretor do município de São Luís (Lei nº. 4.669 de 11 de outubro de 2006), especificamente o Título IV (Do Uso do Solo Urbano e Rural), apresenta em seu Capítulo II (Dos Objetivos e Diretrizes) uma perspectiva da conservação urbana integrada. Porém, Brito (2009) destaca alguns pontos que divergem da legislação apresentada afirmando que:

Os critérios de uso e ocupação do solo urbano em São Luís são desconexos e em muitos casos frutos da ocupação urbana desordenada. As irregularidades presentes no espaço urbano ludovicense não estão restritas aos habitantes de baixa renda. A ausência de uma política disciplinadora do uso do solo em São

Luís é vista como um dos grandes entraves para o seu desenvolvimento [...] O plano diretor aprovado em 2006 traz em seu bojo uma visão sistêmica da cidade, onde aspectos não podem ser tratados de forma isolada. Questões setoriais foram debatidas, sendo a questão uso e ocupação do solo recebido certo desmerecimento. Como se este tópico fosse apenas gerar mapas, cartogramas, níveis de construção e cotas de adensamento por si só, num passe de mágica (BRITO, 2009, p.52).

Desde Julho de 2015 tem se discutido uma atualização do Plano Diretor municipal com o objetivo de revisar parte do referido Plano e a Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LEI 3.253, DE 29 DE DEZEMBRO DE 1992). Até então diversas audiências públicas foram realizadas para esclarecer os pontos a serem alterados, fato que tem dividido opiniões acerca das mudanças e dos impactos que estas possam vir a causar principalmente com relação a preservação e proteção dos recursos naturais.

Muitas diretrizes observadas no Plano Diretor de São Luís não têm sido cumpridas (Art. 6º Constituem diretrizes da política de desenvolvimento urbano municipal) com destaque para aspectos relacionados à prevenção de riscos e recuperação de áreas degradadas, a fiscalização e a responsabilidade social das empresas na melhoria das condições ambientais e urbanas das comunidades de entorno, o ordenamento do uso do solo, a poluição e degradação ambiental (Figuras 29 e 30).

Os bairros inseridos na área de estudo são: Liberdade, Residencial Esperança, Vila 25 de Maio / Conjunto dos Ipês, Quitandinha / Vinhais I / Vinhais II, Fé em Deus, Cantinho do Céu/Conjunto Manoel Backman, Recanto dos Vinhais, Vila Passos, Camboa, Vinhais III, Vila Menino Jesus de Praga / Cohaserma/Planalto do Calhau / Vinhais V, Belo Horizonte, Apeadouro, Jaracaty, Santa Eulália / Vila Independente, Alemanha, Coréia, Boa Morada, São Francisco, Monte Castelo, Renascença, Parque Ângela / Residencial Vinhais III, Residencial Planalto Vinhais I / Vinhais VI, Maranhão Novo, Vinhais IV, Apicum, Bequimão, Fabril, Cohafuma, Calhau, Loteamento Vinhais, São Marcos, João Paulo, Jardim Monterey / Vinhais Velho, Paque Olinda / Vila Roseana, Caratitua, Conjunto Habitacional Vinhais, Ipase, Centro, Japão, Diamante e Cohama, totalizando 42 bairros (Figura 31).

Figura 29 - Loteamentos irregulares na rua: 38 no bairro Vinhais – São Luís, MA



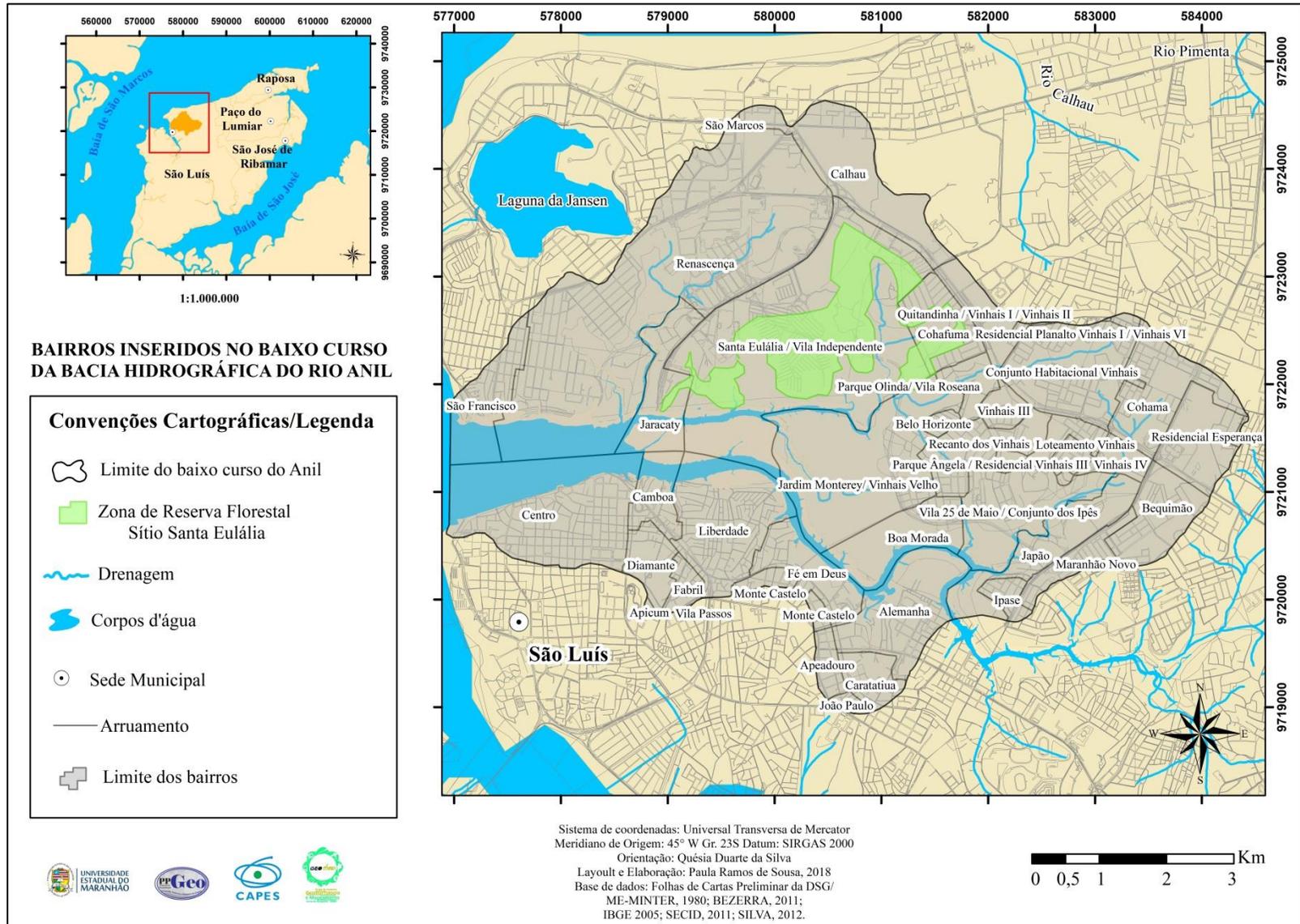
Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 30 - Ocupações irregulares e supressão de manguezal no baixo curso do rio Anil



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 31 - Mapa de delimitação dos bairros na área de estudo



4.2 Caracterização da Paisagem Local

4.2.1 Características Geológicas

Com relação à geologia, área de estudo faz parte da Bacia de São Luís, localizada no litoral noroeste do Estado do Maranhão e constituem grábens desenvolvidos sobre o Fragmento Cratônico São Luís. A Bacia de São Luís limita-se com a Bacia do Pará-Maranhão e Barreirinhas pela Plataforma de Ilha de Santana e o limite sul pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, que a separa da Bacia do Parnaíba.

A Ilha do Maranhão tem como unidade geomorfológica o Golfão Maranhense, que é uma região caracterizada pela presença de rochas originados entre o Mioceno (Neógeno) e o Holoceno (Quaternário). Situado entre o Litoral Ocidental e o Litoral Oriental do Maranhão o golfão foi gerado e modelado ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogênicos e pela ação climática.

Em relação à estratigrafia, a Ilha do Maranhão é constituída por rochas cretáceas do Grupo Itapecuru¹⁸, de idade Mesozóica, sobreposta por formações superficiais da era cenozoica, de abrangência do Paleógeno e grupo Barreiras, bem como coberturas lateríticas terció-quaternárias e a formação Açuí, apresentando coberturas pleistocênicas e holocênicas quaternárias.

As litologias do Grupo Itapecuru foram originadas por processos de laterização, tendo se desenvolvido um perfil pouco evoluído, com espessura de 3 a 4 m, caracterizando uma cobertura detrítico/laterítica ou pode ser capeada por sedimentos flúvio-lacustres holocênicos das amplas planícies de inundação. Geralmente, encontra-

¹⁸ Conforme Klein, *et al.*, (2012), apesar dessa individualização na Bacia de São Luís, o termo “Formação Itapecuru”, continua sendo usado por vários autores para se referir a determinados depósitos cretáceos que ocorrem nas bacias do Parnaíba e de Bragança-Vizeu. O nome Itapecuru foi usado inicialmente por Lisboa (1914), que denominou de Camadas Itapecuru aos arenitos aflorantes entre os rios Itapecuru e Alpercatas. Campbell (1949) chamou de Formação Itapecuru os arenitos com siltitos e folhelhos intercalados que recobrem concordantemente a Formação Codó. Rochas cretáceas situadas entre as formações Codó e Barreiras, na região de Serra Negra, ao sul de Grajaú, foram denominadas de Formação Serra Negra (CAMPBELL *et al.*, 1949), porém esse nome foi logo abandonado. A partir de então, os depósitos situados entre as formações Codó/Grajaú (Aptiano) e Pirabas/Barreiras (Oligo-Mioceno) passaram a ser denominados de Formação Itapecuru. Com base em descrição detalhada de depósitos de idade Cretácea-Paleógena localizados na região de Alcântara (MA), Bacia de São Luís (ROSSETTI, 1996, 1997), Rossetti e Truckenbrodt (1997) elevaram a Formação Itapecuru à categoria de Grupo, sendo este composto da base para o topo pela Unidade Indiferenciada (Albiano - em subsuperfície), Formação Alcântara (Albiano-Cenomaniano) e Formação Cujupe (Cretáceo Superior/ Paleógeno) (KLEIN, *et al.*, 2012, p. 71-72).

se nos paredões de falésias de Alcântara, com espessura de 20 m, onde se encontra sua seção-tipo. Em São Luís ocorre na falésia da Praia do Boqueirão, ao lado do Porto de Itaqui e na praia de São Francisco (PEREIRA, 2006).

Apesar de seu caráter restrito o Grupo Itapecuru é composto por sedimentos muito intemperizados, especialmente nos níveis superficiais. Falhas de natureza local ou regional colocam níveis do topo em posição geográfica mais baixa, dificultando a caracterização da posição do estrato (SILVA; DIAS; FARIAS FILHO, 2015).

O Grupo Barreiras aflora na Ilha do Maranhão principalmente nas falésias, colinas, encostas e topos dos tabuleiros. A espessura não excede 30 metros. Conforme Pereira (2006) este grupo sobrepõe-se a unidades mais antigas do Pré-Cambriano, Cretáceo e Terciário Paleógeno (Figura 32).

Figura 32 – Estratigrafia da Bacia de São Luís

TEMPO MILHÕES DE ANOS	GEOCRONOLOGIA				LITOESTRATIGRAFIA			EVOLUÇÃO TECTÔNICA
	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	UNIDADES		LITOLOGIA	
					GR.	FORMAÇÃO		
100	CENOZ.	QUAT.	HOLOC.		GR. SUPERFICIAIS			
			PLEIST.					
	Neogeno	Paleogeno			GR. BARREIRAS			
MESO.	CRETÁ- CEO	GÁLICO	SENON.		PALEOGENO			
					ITAPECURU	724	Ki	RIFTE

Fonte: Rodrigues, et al. (1994), adaptada de Góes et al. (1990).

Com base no trabalho publicado por Silva (2012a)¹⁹ na área correspondente ao baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil predominam as formações geológicas do Grupo Barreiras e Formação Açuí (Sedimentos pós-Barreiras) (Tabela 4 e Figura 33).

A litologia do Grupo Barreiras tem como matriz do seu arcabouço grãos de areia, silte e argila muito intemperizados, recoberta pelos sedimentos holocênicos, notadamente ao longo do litoral (SILVA; DIAS e FARIAS FILHO, 2015).

¹⁹ Apesar desta classificação ser atualmente a mais aceita e amplamente utilizada por diversos pesquisadores existe em andamento uma proposta de atualização das litologias da área de estudo por parte da CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

Em São Luís o Grupo Barreiras apresenta-se laterizado, com um perfil pouco evoluído ou imaturo. Os níveis mais arenosos deste perfil estão ferruginizados, com uma coloração avermelhada e amarelada ocre. Nos níveis argilosos predominam uma coloração esbranquiçada a rósea (RODRIGUES *et al.*, 1994).

A Formação Açuí que data do Quaternário é bastante presente na Ilha do Maranhão e tem como características sedimentos argilo-arenosos com origem aproximada entre o Pleistoceno superior e o Holoceno (SILVA; DIAS e FARIAS FILHO, 2015).

De acordo com Pereira (2006) os sedimentos quaternários da Formação Açuí ocorrem em ambientes fluviais a marinhos litorâneos recobrando todas as demais unidades estratigráficas aflorantes na Bacia de São Luís.

Segundo Rodrigues, *et al.*, (1994) na Formação Açuí incluem os sedimentos arenosos inconsolidados e pouco coesos, argilosos não-adensados e as areias de praia e dunas móveis da faixa litorânea atual, além dos manguezais típicos e extensos que preenchem as partes topograficamente mais baixas.

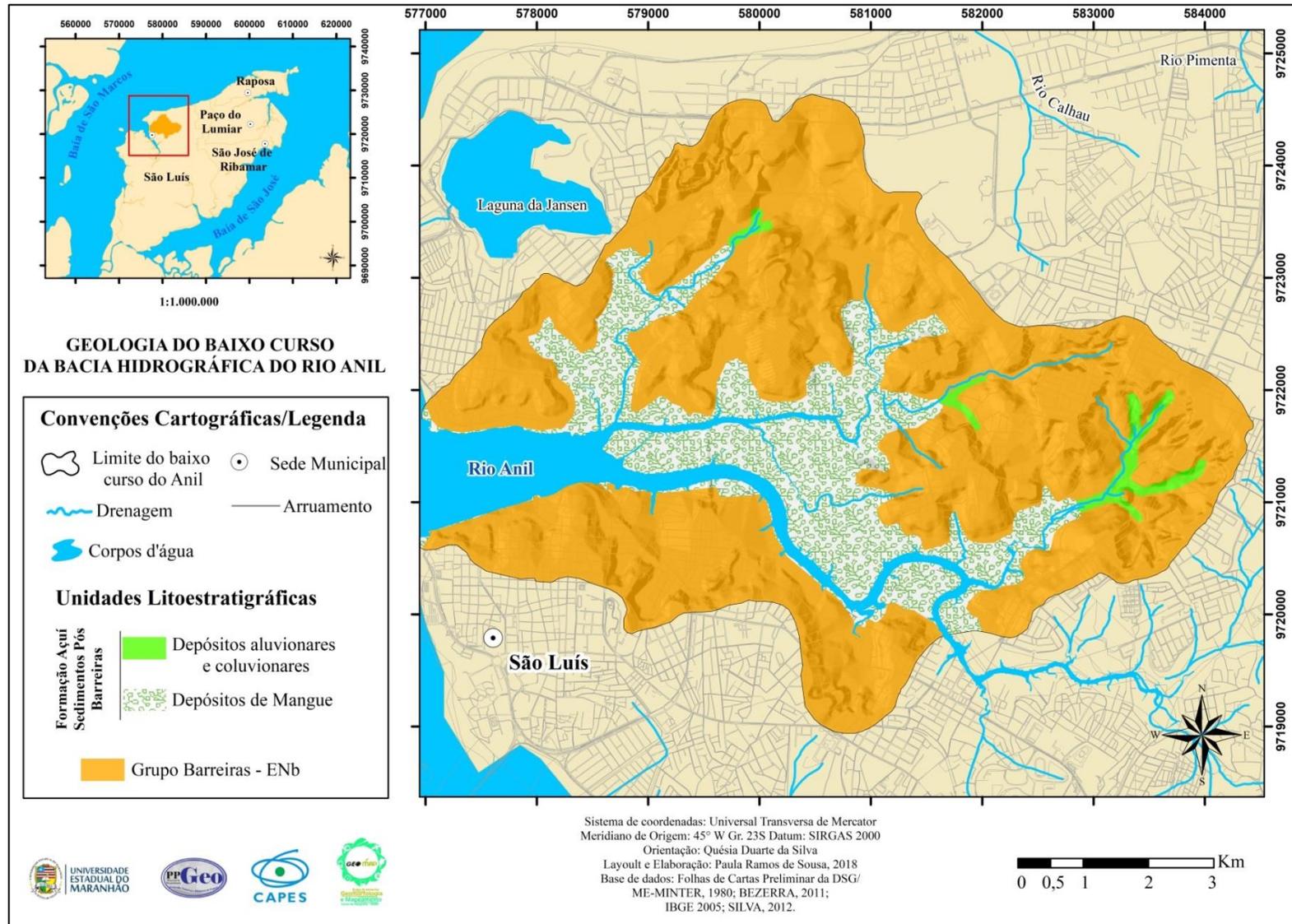
Os depósitos de mangue constituem extensas planícies lamosas e ficam situados entre os limites de maré alta e baixa. São constituídos predominantemente por sedimentos lamosos (argila e silte) de coloração cinza, plásticos, não adensados, maciços e bioturbados (KLEIN, *et al.*, 2012).

Tabela 4 - Valores absoluto e relativo das Unidades Litoestratigráficas do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

Unidades Litoestratigráficas	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
Grupo Barreiras (ENb)	16,26	69,90
Depósitos Aluvionares e Coluvionares	0,38	1,64
Depósitos de Mangue	6,62	28,46
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 33 - Mapa de Formações Geológicas do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil



4.2.2 Geomorfologia e Características das Encostas

Na Ilha do Maranhão durante sua evolução, ocorreram diferentes fases de desenvolvimento, sendo que as transformações mais significativas resultaram numa paisagem pontuada de formas residuais, que encerram caracteres de antigos ambientes.

Predominam formas tabulares e subtabulares, intercaladas por colinas dissecadas sob uma litologia sedimentar (FEITOSA, 1989 *apud* BEZERRA, 2011).

Os tabuleiros compreendem as porções centrais da ilha com topos planos e encostas com ondulações suaves e solos areno-argilosos.

A Ilha de São Luís está situada no centro da Planície Flúvio-Marinha do Golfão Maranhense, sendo formada por rochas e sedimentos da Formação Itapecuru e Barreiras respectivamente, e estão cobertas por uma superfície de crosta ferruginosa que acompanha o relevo. Na ilha são encontradas algumas formas de relevo características do Estado do Maranhão, pois se apresentam nas faixas de baixas altitudes (0 - 5 m), as planícies flúviomarinhas, formadas por extensivos mangues; nos níveis de 20 a 30 metros, as suaves colinas; e nas altitudes maiores, 40 a 60 metros, tem-se a presença dos tabuleiros. A maior altitude encontrada na Ilha do Maranhão atinge 60 metros (PEREIRA, 2006, p. 71).

A Ilha do Maranhão está situada em zona costeira (costa mista, planícies costeiras e costas de erosão marinha). Na porção Norte da ilha nota-se a formação de costa sub-retilínea com presença de praias arenosas e dunas. Predomina também o tipo de costa recortada, as “falsas rias”.

A planície costeira representa a consequência da emersão pela última transgressão marinha, em que os vales foram inundados e a linha de costa passou a ter o formato recortado, formando planícies aluviais que em época posterior foi recoberta por vegetação de mangue. Observa-se ainda a planície de maré caracterizando-se por vegetação de mangue, com aspecto não retilíneo e muito recortado.

A identificação dos níveis taxonômicos foi realizada com base na proposta de classificação e mapeamento de Ross (1992) a partir das unidades morfoestruturais, morfoesculturais, unidades morfológicas ou padrões semelhantes e tipos de forma de relevo (Figura 34).

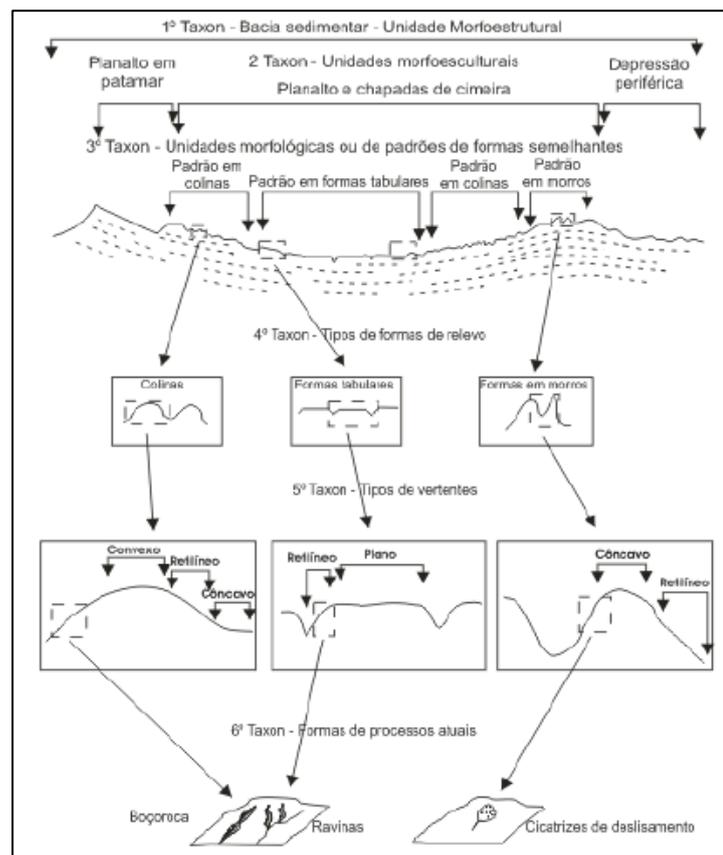
Conforme a proposta mencionada o 1º táxon corresponde à unidade morfoestrutural, que é a maior forma de relevo e a mais antiga dentre as formas. Nessas unidades pode conter uma ou mais unidades morfoesculturais. O 2º táxon representa as unidades morfoesculturais, que correspondem as morfologias geradas pela ação do

clima durante o tempo geológico, por conseguinte estão expressas nas morfoestruturas e são caracterizadas pelos planaltos, planícies e depressões.

O 3º táxon está relacionado as unidades morfológicas que se distinguem pelas diferenças de rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, como vertentes, formas de topos e vales de cada padrão. O 4º táxon, por sua vez, é caracterizado pelas unidades de padrão de formas semelhantes, moldadas por processos de agradação como planícies aluviais, terraços, e de degradação, como colinas, morros e cristas.

O 5º táxon refere-se aos tipos de vertentes de cada uma das formas do relevo. Cada tipologia de vertente é geneticamente diferenciada, além disso, pode apresentar características dinâmicas e geométricas distintas. O 6º táxon apresenta as menores formas resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou dos depósitos atuais, seja de ordem natural, como cicatrizes de escorregamento ou de intervenções antropogênicas como, ravinas e voçorocas.

Figura 34 - Níveis taxonômicos do relevo proposto por Jurandir Ross



Fonte: Ross (1992).

Além desta classificação o trabalho teve como base o mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão realizado por Silva (2012a), incluindo a simbologia linear proposta por Verstappen e Zuidam (1975) *apud* Cunha; Mendes e Sanchez (2003), visando a identificação das formas do terreno (processos erosivos, morfometria, formas de origem gravitacional e formas de origem fluvial), considerando que as características litológicas são identificadas somente pelo tipo de rocha predominante.

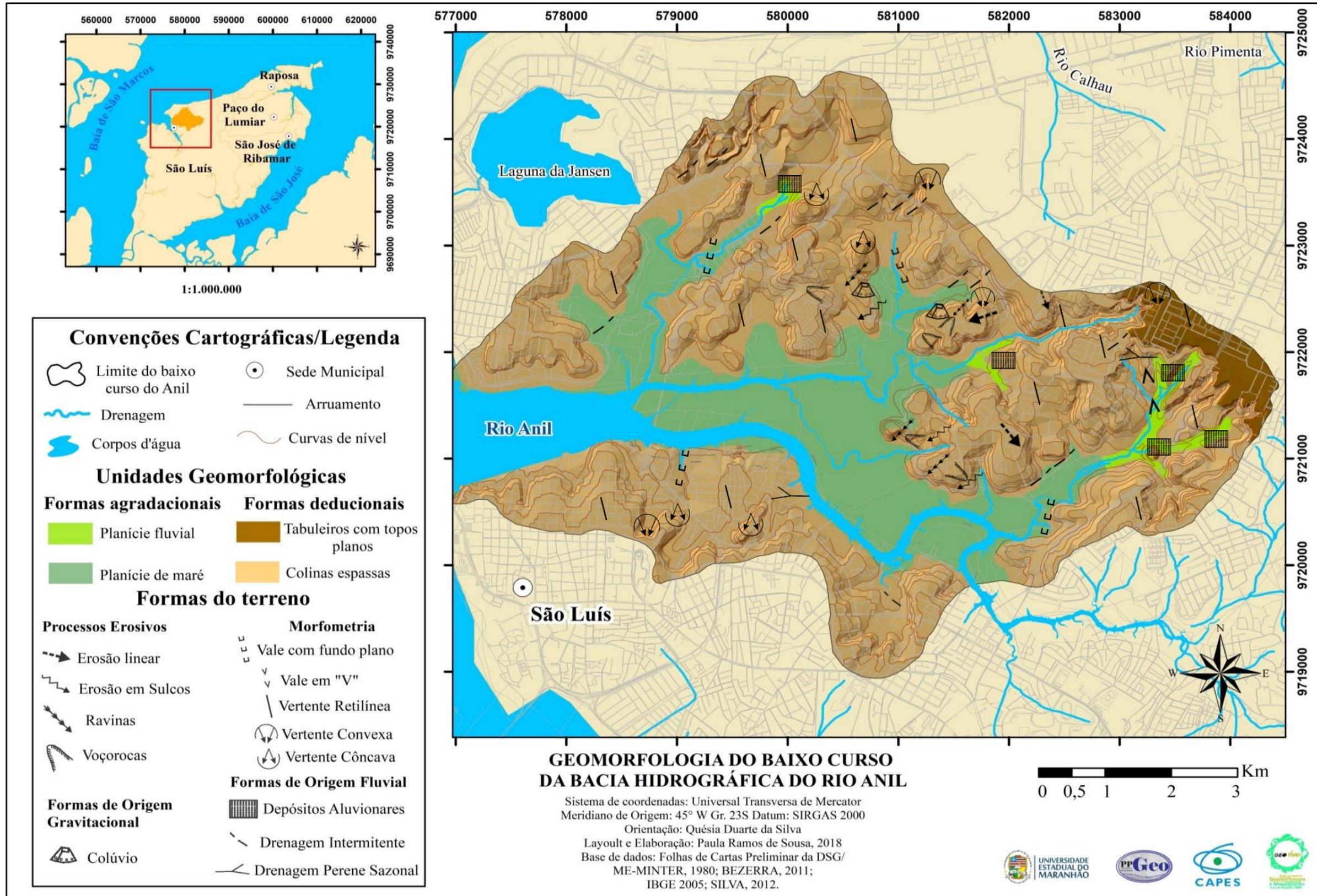
Neste sentido, na área de estudo foram identificadas diversas morfologias as quais estão diretamente relacionadas às unidades morfoesculturais do terceiro e quarto níveis taxonômicos (Tabela 5). O mapeamento geomorfológico do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil possibilitou a identificação das formas agradacionais (planície fluvial, planície de maré) que se desenvolvem pelo processo de acumulação ou sedimentação e as formas denudacionais (tabuleiros com topos planos, colinas esparsas) que passam pelo processo de desgaste ou erosão (Figura 35).

Tabela 5 - Valores absoluto e relativo das Unidades de Relevo do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

Unidades de Relevo	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
(Formas Agradacionais)		
Planície fluvial	0,38	1,64
Planície de maré	6,62	28,46
(Formas Denudacionais)		
Tabuleiros com topos planos	2,35	10,10
Colinas esparsas	13,91	59,80
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 35 - Mapa de Unidades de Relevo do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil



Com relação às características das encostas, foi adotada a classificação de Valeriano (2008) no qual aparecem os três tipos de vertentes que representam as curvaturas horizontal e vertical do terreno associadas, totalizando nove classes (Tabela 6 e Figura 36).

Tabela 6 - Valores absoluto e relativo das Formas de Terreno do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

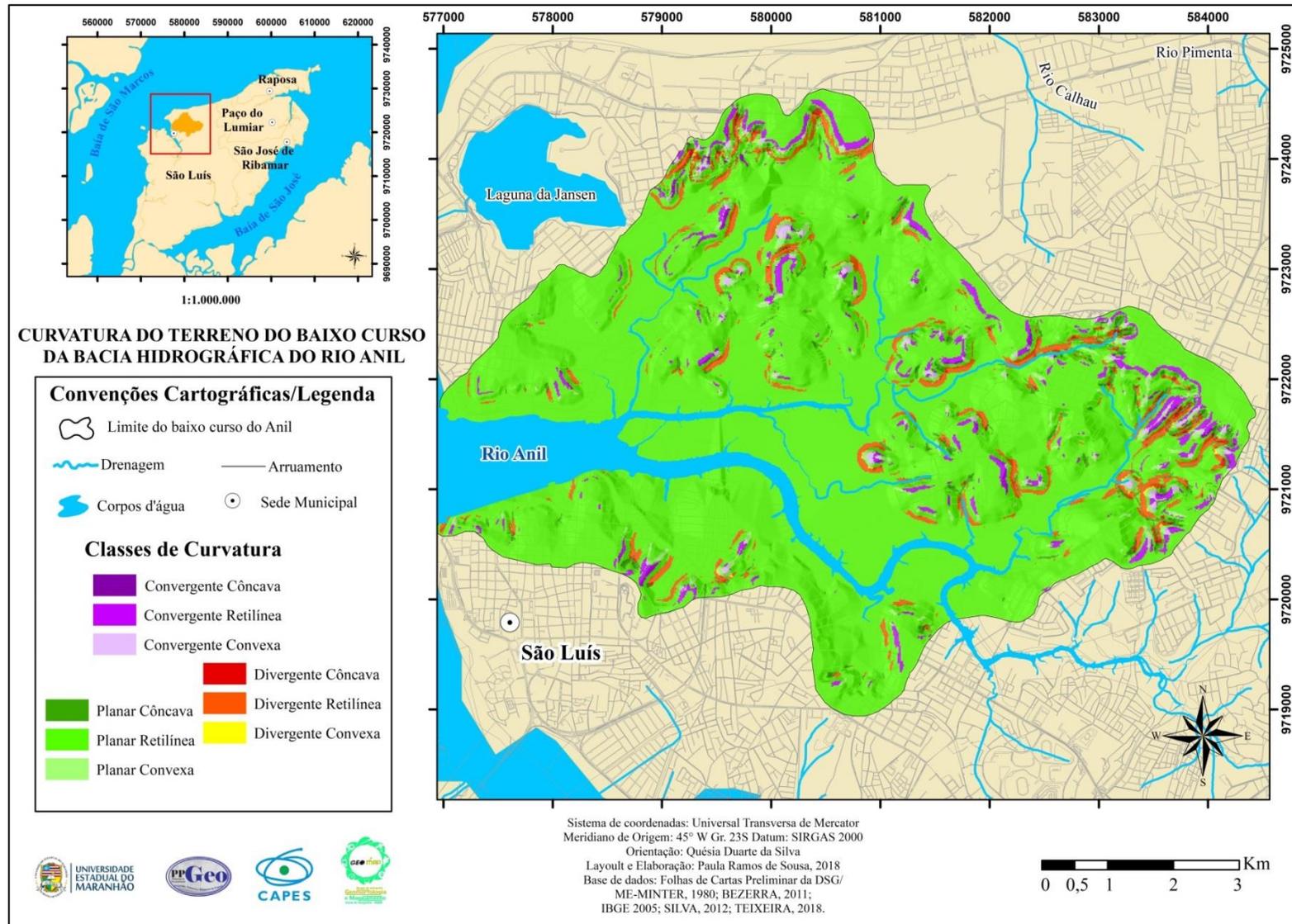
Formas de Terreno	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
Convergente Côncava	0	0
Convergente Retilínea	0,71	3,05
Convergente Convexa	0,15	0,64
Planar Côncava	0,36	1,54
Planar Retilínea	20,62	88,68
Planar Convexa	0,34	1,46
Divergente Côncava	0,09	0,38
Divergente Retilínea	0,98	4,21
Divergente Convexa	0,01	0,04
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

A curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil e está relacionada aos processos de migração e acúmulo de matéria através da superfície (sobretudo água), proporcionados pela gravidade. Por este mecanismo, atua indiretamente no equilíbrio entre os processos de pedogênese/morfogênese, além de influenciar a distribuição local do regime hídrico (VALERIANO, 2008).

Em analogia à relação entre curvatura vertical e declividade, a curvatura horizontal pode ser descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância. Esta variável está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Como medida de concentração do escoamento superficial, é uma variável importante também para a compreensão de problemas urbanos ligados ao posicionamento de estruturas de drenagem.

Figura 36 - Mapa de Curvatura do Terreno do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil



4.2.2.1 Declividade e Hipsometria

Os fatores relativos às encostas podem afetar a erodibilidade dos solos de diferentes maneiras inclusive por meio da declividade. Neste sentido, a declividade das encostas não deve ser levada em conta separadamente, mas conjuntamente com as características das superfícies do solo que também afetam a remoção e a quantidade de escoamento superficial (GUERRA, 2015, p. 163-164).

O problema da erosão dos solos está relacionado a uma determinada superfície, onde existem contrastes entre a alta, a média e a baixa encosta. Assim conforme Guerra, (2011, p. 32-33):

A declividade pode ser um fator importante, mas não há necessariamente uma correlação positiva à medida que a declividade aumenta, porque a literatura relacionada a esse fator mostra por meio de vários exemplos, que em encostas muito íngremes a erosão pode diminuir, devido ao decréscimo de material disponível (Morgan, 1986 e 2005; Fullen e Catt, 2004; Guerra e Marçal, 2006).

Conforme a Embrapa (2018), as condições de declividade, comprimento de encostas e configuração superficial dos terrenos, que afetam as formas de modelado (formas topográficas) de áreas de ocorrência das unidades de solo, são importantes para a geração de informações sobre práticas agrícolas e facilitar inferências sobre suscetibilidade dos solos à erosão.

Para a área de estudo são reconhecidas as seguintes classes de relevo e seus respectivos valores absoluto (Km²) e valores Relativo (%) (Figura 37 e Tabela 7):

Plano – superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0% a 3%. **Suave ondulado** – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas (elevações de altitudes relativas até 50 m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3% a 8%. **Ondulado** – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8% a 20%. **Forte ondulado** – superfície de topografia movimentada, formada por outeiros (elevações de altitudes relativas de 50 m a 100 m) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20% a 45%.

Figura 37 - Mapa de declividade do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil

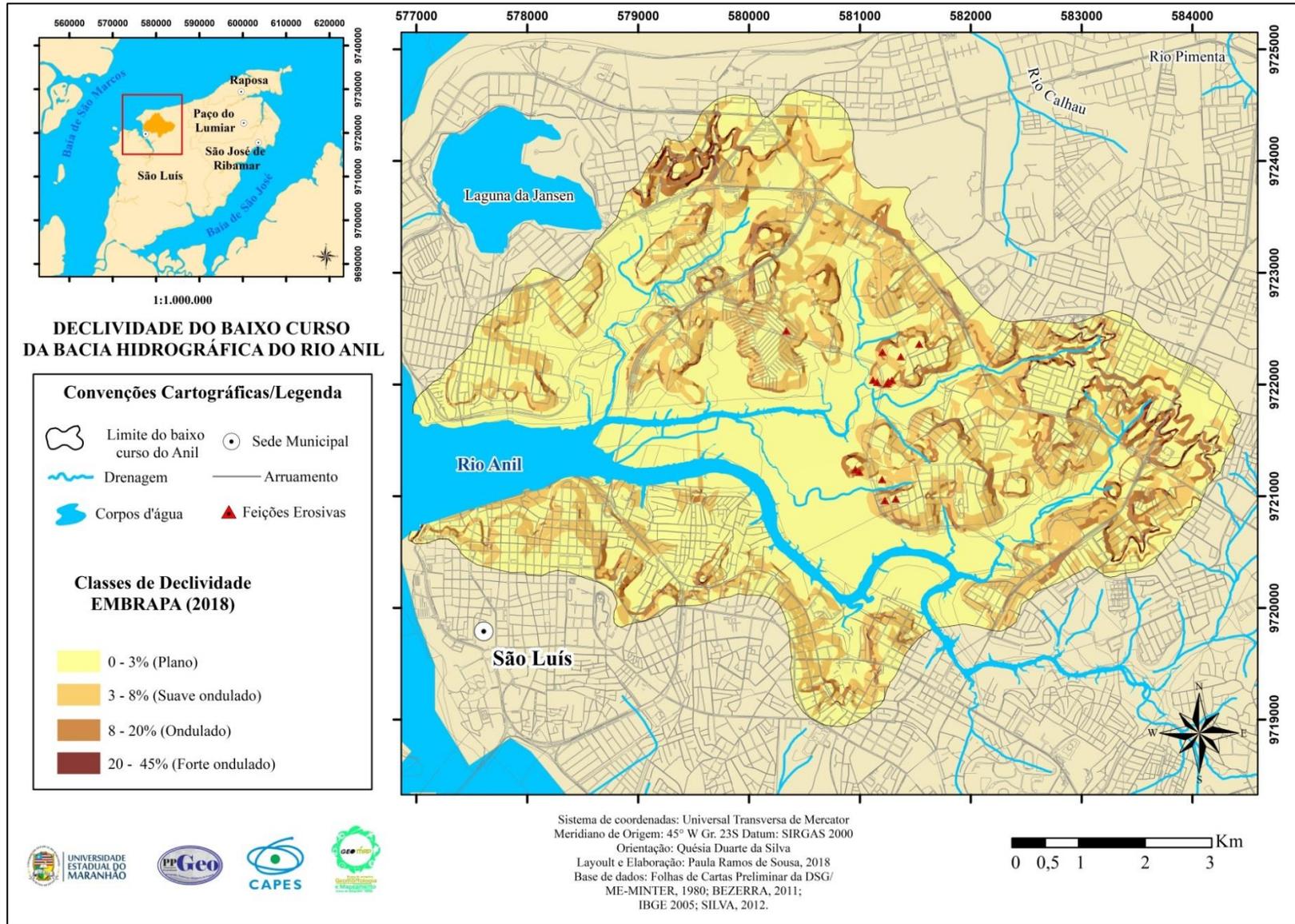


Tabela 7 - Valores absoluto e relativo das Classes de Declividade do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

Classes de Declividade (EMPBRAPA, 2018)	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
0 – 3%	9,21	39,59
3 – 8%	8,01	34,43
8 – 20%	4,47	19,21
20 – 45%	1,60	6,77
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à hipsometria, o mapa do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil foi gerado a partir das curvas de nível com intervalo de 5 metros, distribuídas conforme a amplitude altimétrica em 5 classes hipsométricas (Figura 38). A hipsometria é uma técnica de representação da elevação do terreno através de cores, variando do verde para o vermelho, sendo que as maiores altitudes encontram-se na cor vermelha e as regiões de menor elevação estão em verde.

Sobre a distribuição das Classes Hipsométricas, afirma-se que 92,27% do baixo curso do rio Anil está inserida no intervalo de 0 a 30 m, sendo uma área predominantemente baixa. As classes de 0 a 10 m ocupam 53,03% do total. As duas classes que mais se destacam são de 0 a 10 m e 10 a 20 m, equivalendo a 77,79% de toda a área (Tabela 8).

Figura 38 - Mapa de hipsometria do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil

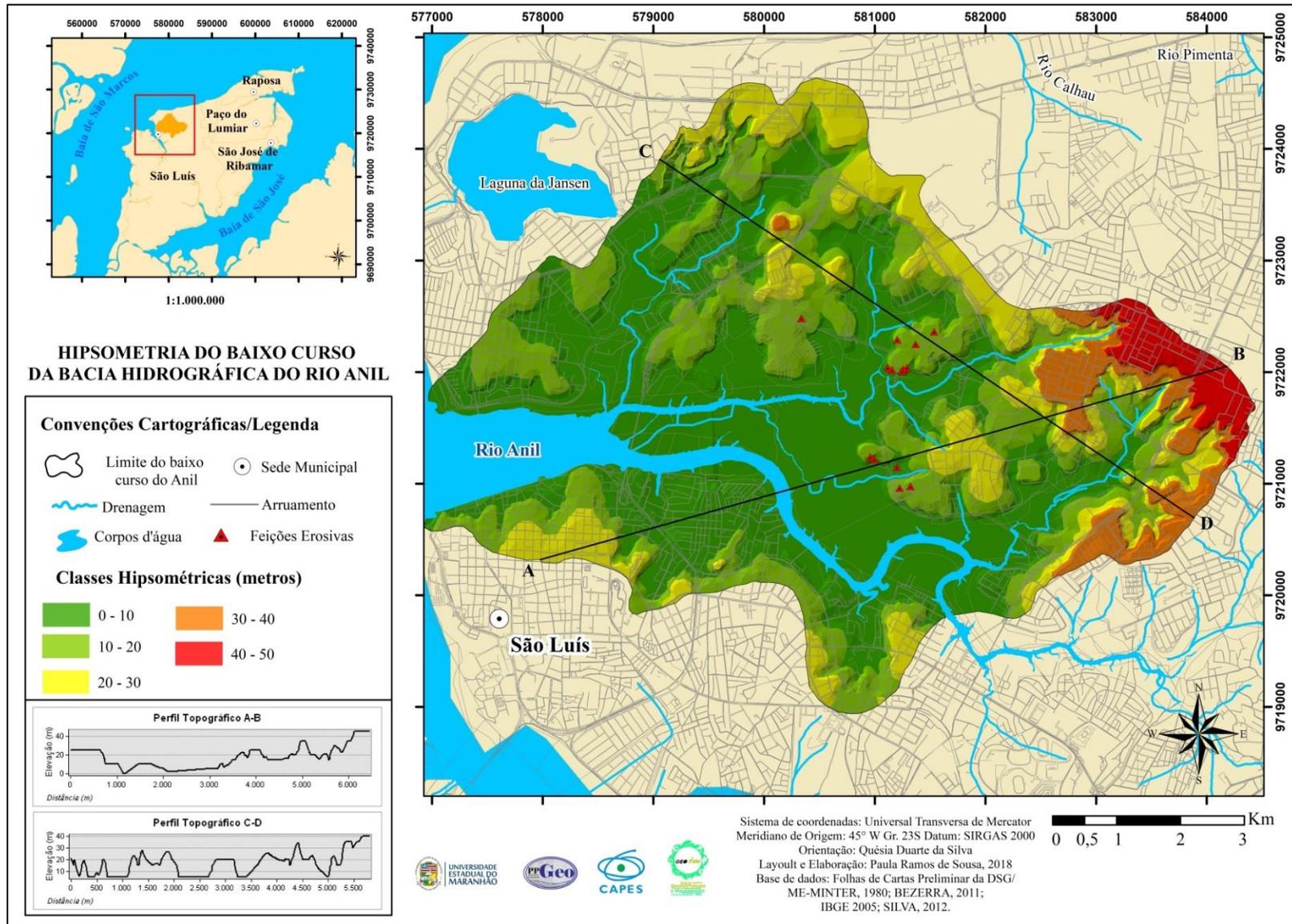


Tabela 8 - Valores absoluto e relativo das Classes Hipsométricas do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

Elevação (m)	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
0 – 10	12,33	53,03
10 – 20	5,76	24,76
20 – 30	3,37	14,48
30 – 40	1,15	4,94
40 – 50	0,65	2,79
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 Distribuição das Classes de Solos e Caracterização Pedológica

O solo é resultado da interação de vários processos pedogenéticos, como adições, perdas e transformações. Sua formação depende da combinação e da intensidade de cinco fatores de formação: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo (OLIVEIRA, 2011, p.84).

O Sistema Brasileiro de classificação de solos apresenta uma definição de solo afirmando que:

O solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas. [...]. Os horizontes refletem os processos de formação do solo a partir do intemperismo do substrato rochoso ou de sedimentos de natureza diversa (SANTOS, *et al.*, 2018).

Porém, no meio urbano é preciso adicionar a forte ação antrópica, que perturba intensamente a gênese do perfil do solo, por vezes removendo-o e por vezes o soterrando, além de sistematicamente o impermeabilizar (LADEIRA, 2012, p. 202).

Segundo este mesmo autor a ação antrópica altera o perfil do solo natural, criando camadas de diferentes materiais, afetando também sua espessura, composição ou distribuição geográfica.

Sobre este aspecto e discorrendo sobre Solos Urbanos, Silva (2011) afirma que:

Os solos de áreas urbanas apresentam grande variação quanto à composição química, física e morfológica. Mesmo áreas em processo de urbanização já apresentam solos com alterações físicas e morfológicas que são resultados das intervenções necessárias para a implantação de residências e ruas. Nas áreas urbanas consolidadas não se pode dizer que há um solo propriamente dito, pois aterros, decapeamentos e a impermeabilização do solo são tão fortes que descaracterizam aquilo que se convencionou chamar de solo. Nas áreas em processo de urbanização, a remoção da cobertura vegetal, implantação de ruas e “benfeitorias” podem induzir a processos que resultam na degradação dos solos, levando à perda do horizonte A e mesmo gerando ravinas, voçorocas e assoreamento dos cursos d’água (SILVA, 2011, p.43-44).

Apesar dos fatores de formação do solo atuar em conjunto, a manifestação desses dá origem a uma infinidade de diferentes tipos de solos. Nesta perspectiva fez-se necessário uma caracterização dos diferentes tipos de solos encontrados na área objeto de estudo.

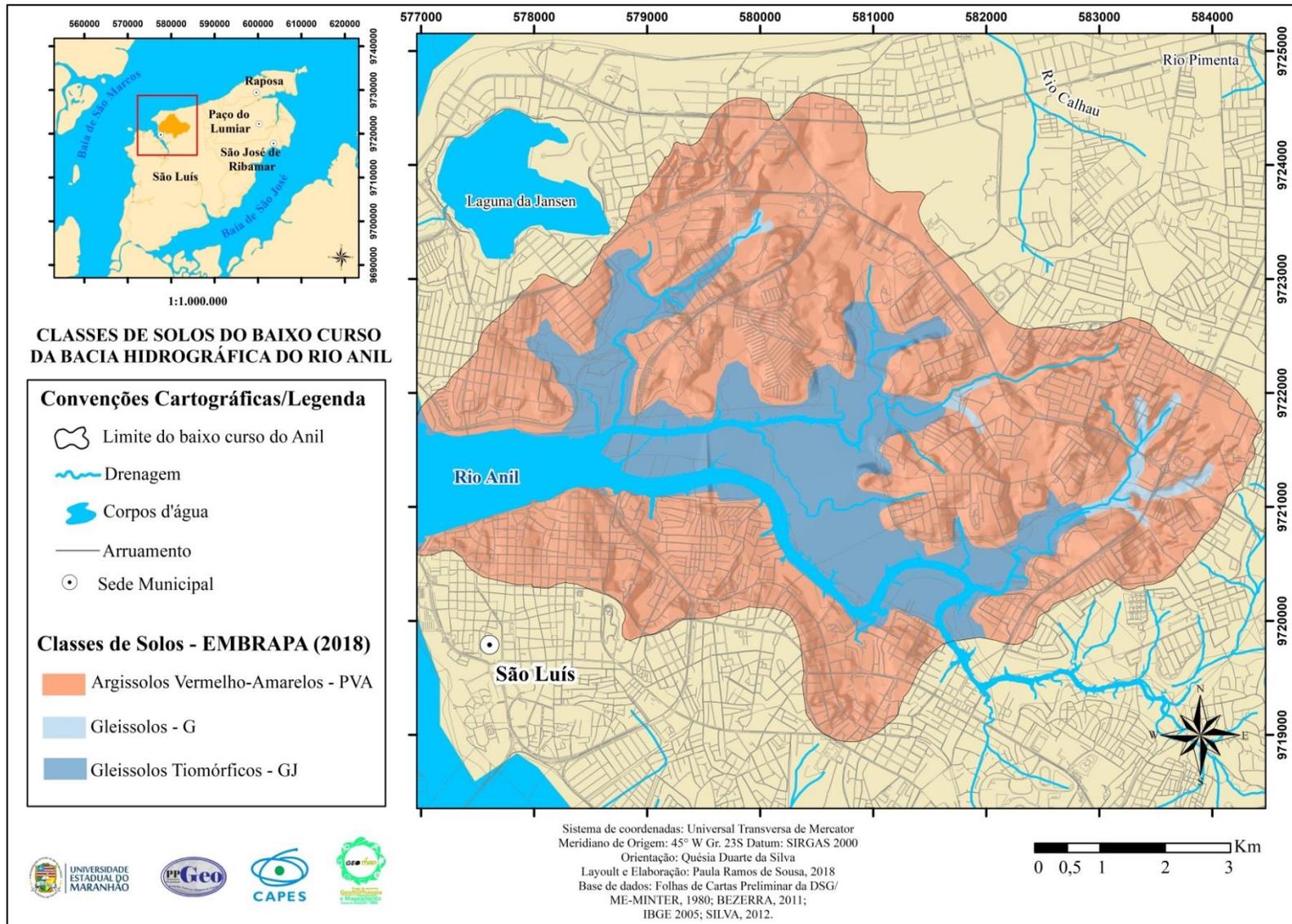
Considerando que não consta nos níveis hierárquicos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2018) uma classificação para solos urbanos, adotou-se nesta pesquisa o trabalho realizado por Silva (2012a) referente à Ilha do Maranhão, a qual apresentou as seguintes classes de solos para o baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, com base em Maranhão (1998b): Argissolos Vermelho-Amarelos, Gleissolos, e Gleissolos Tiomórficos (Tabela 9 e Figura 39).

Tabela 9 - Valores absoluto e relativo das Classes de Solos do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

Classes de Solos	Área	
	Valor Absoluto (km ²)	Valor Relativo (%)
Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA)	16,26	69,91
Gleissolos (G)	0,38	1,63
Gleissolos Tiomórficos (GJ)	6,62	28,46
Total	23,26	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 - Mapa das classes de Solos do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil



❖ Argissolos

Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico na maior parte do horizonte B (EMBRAPA 2018).

Ocorrem em áreas de relevo plano até forte ondulado, com uma profundidade bastante variável. Ainda de acordo com a Embrapa (2018), grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo, para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este.

Os solos desta classe tem como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escuras. A profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos e profundos (IBGE, 2015, p.285).

• Argissolos Vermelho-Amarelos

Tem como principal característica pedológica a presença do horizonte diagnóstico Bt (textural), constituído pelo acúmulo de argilas iluviadas advindas dos horizontes O, A e E. Quanto às suas características físicas, apresenta coloração que varia ao longo do perfil de marrom claro (Horizonte A) até amarelo (Horizonte Bt).

A textura é arenosa a média nos horizontes superiores (A e E), sendo um solo, com exceção do horizonte Bt, com pouca plasticidade. A estrutura do horizonte Bt é angular e sub-angular; com consistência ligeiramente dura, quando molhado, mas friável quando úmida. É um solo mineral, profundo (150 cm), moderadamente drenado. Ocupam grandes extensões, especialmente a porção centro-norte da Ilha do Maranhão, nas áreas com relevos planos a suave-ondulados, totalizando 184,18 km² (SILVA, 2012a).

❖ Gleissolos

Gleissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo, ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A

ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos (EMBRAPA, 2018).

De acordo com a Embrapa (2018), os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Caracterizam-se pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica.

Na Ilha do Maranhão encontram-se ainda os Gleissolos Háplicos, alumínico e distrófico, caracterizados por serem mal drenados, hidromórficos, muito ácidos, pouco profundos, de textura arenosa e média arenosa, ocorrendo nas planícies fluviais.

Conforme Silva (2012a), estes solos foram agrupados e espacializados como Gleissolos apresentando características de solo pouco profundo (60 cm), mal drenado, sem erosão aparente e em relevo plano.

Possui sequência de horizontes A-Cg, com gradual transição entre os horizontes A e C. O horizonte A apresenta textura arenosa, ligeiramente plástica, não pegajosa e com cor bruno forte. O horizonte C apresenta textura franco arenosa, ligeiramente plástica a não plástica, com cor variando de bruno acinzentado muito escuro à acinzentado. Os Gleissolos não possuem o horizonte B diagnóstico e sua textura é caracterizada por apresentar areia franca; tem estrutura sub-angular, e as raízes das plantas tornam este solo mais poroso. Quanto à consistência, o solo, quando seco, é ligeiramente duro; quando molhado, é firme.

- Gleissolos Tiomórficos

São solos de baixadas litorâneas, com pH muito baixo, sob influência de oscilações de marés, distribuem-se nas regiões costeiras e planícies aluvionais, apresentam materiais sulfídricos ou horizonte sulfúrico dentro de 100 cm a partir da superfície (EMBRAPA, 2018).

De acordo com Lepsch (2010), apresentam horizonte com apreciáveis quantidades de sais de enxofre, quase sempre por influencia de águas marinhas e incluem muitos dos solos com vegetação de mangue (Figura 40).

“Em virtude da variabilidade do nível da água pelas marés e com o processo de oxidação, eles se tornam muito ácidos e, quanto ao relevo, estão associados às planícies de

maré” (SILVA, 2012a²⁰, p. 128). São observados ao longo da faixa costeira nas áreas que estão sob a influência das marés, na foz dos canais de drenagem, sendo registrados também nas partes baixas da orla marítima.

Figura 40 – Gleissolos Tiomórficos em canal de drenagem nas proximidades da Via Expressa



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

É importante ressaltar que foi realizada uma atualização referente ao uso desta classificação por meio de trabalhos de campo, coleta de amostras de solos, análises de laboratório e elaboração de esboço pedológico para validação dos dados em decorrência da escala de detalhe, da expansão urbana da área objeto de estudo e suas implicações na modificação da paisagem e geração de deposições indiretas.

Essas alterações antropogênicas interferem na dinâmica natural e conseqüentemente exercem influencia nas composições física, química e biológica do solo devido à adição de elementos e artefatos de origem humana (Figura 41).

Neste sentido, nas áreas que correspondem aos perfis de coleta foram caracterizados os solos rasos e que possuem características similares aos Neossolos Quartzarênicos (RQ) e solos desenvolvidos com características associadas aos Latossolos (L) em conformidade com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

De acordo com a Embrapa (2015) estes configuram grupamentos de solos frágeis e estão individualizados no esboço pedológico simplificado (Figura 42).

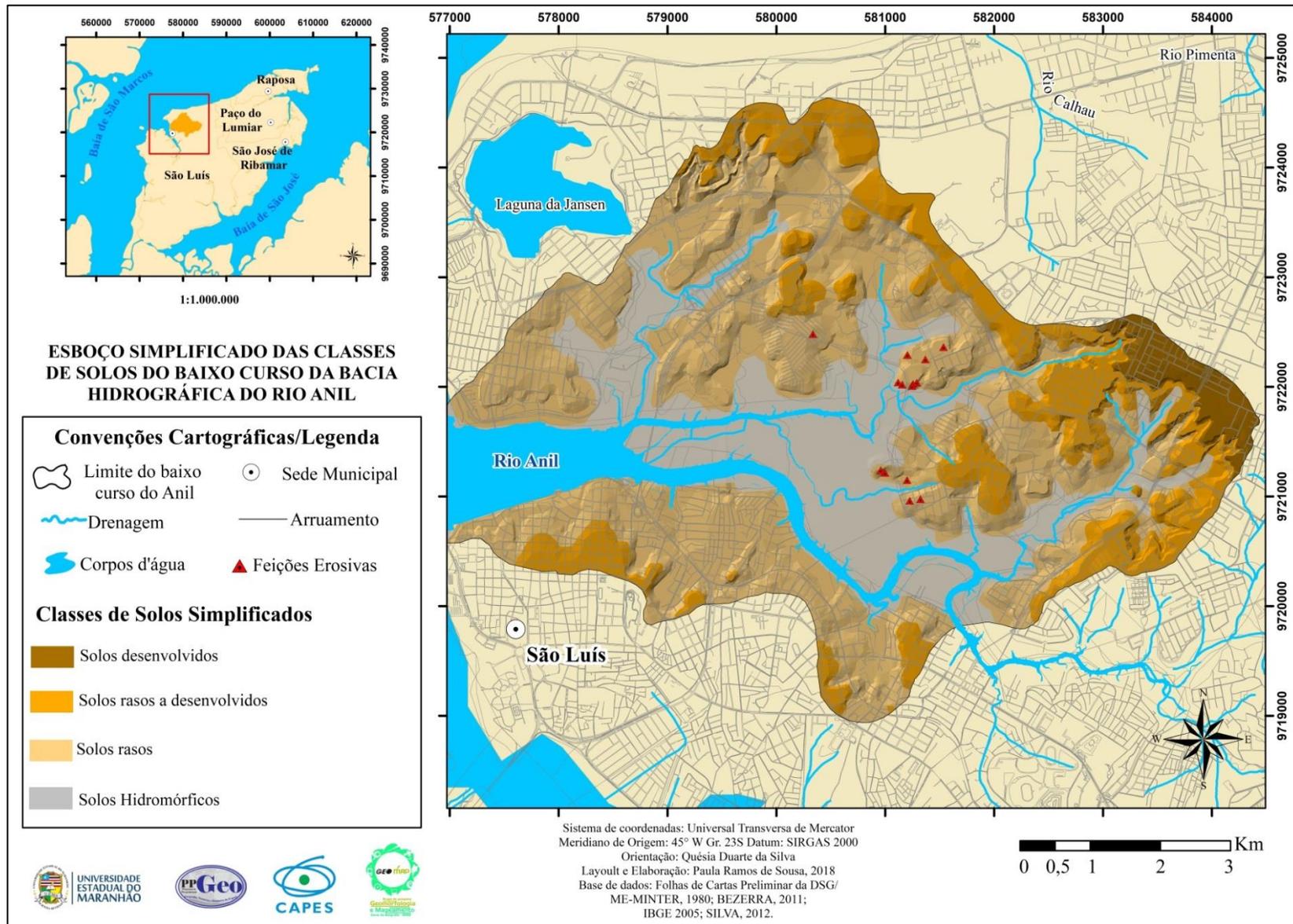
²⁰ A autora utiliza em sua tese a terminologia “Solos indiscriminados de mangue” para esta classe de solos.

Figura 41- Presença de material tecnogênico em áreas de solo exposto na Via Expressa



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 42 - Mapa do Esboço das Classes de Solos do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil



4.2.4 Aspectos Climáticos

As inúmeras variações no clima de uma local para outro, influenciadas pelas diferentes combinações dos processos atmosféricos, condicionam a existência de um grande número de tipos climáticos (UEMA/NUGEO, 2016).

Neste sentido, Silva (2012a) afirma que:

O clima da Ilha do Maranhão é caracterizado como sendo tropical chuvoso, com períodos secos no inverno e períodos quentes com chuva de verão, e quente e úmido, com características equatoriais. A temperatura média anual é de 26,9°C sendo os meses de Novembro e Dezembro os mais quentes e os de Fevereiro, Março e Julho os mais frios (SILVA, 2012a, p. 93).

A Zona de Convergência Intertropical também atua no regime climático da porção norte do Estado do Maranhão, uma vez que o movimento desta zona, nos sentidos N-S e S-N, geram mudanças nas temperaturas e precipitações.

Nos anos de 2016 e 2017, o regime de chuvas no Maranhão foi caracterizado com ocorrência de poucas chuvas e distribuição irregular, em pontos diferenciados, o que segundo o Nugeo - Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, ocorre devido ao fenômeno *El Niño*²¹. As características são de chuvas isoladas, curtas e fortes, mas concentradas em um curto período de tempo principalmente entre os meses de Abril e Maio.

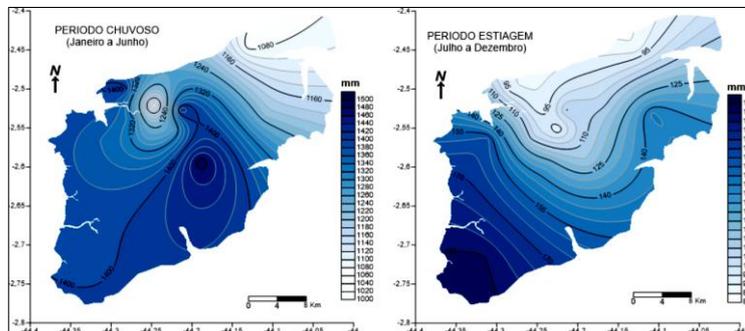
Pesquisas básicas que procurem entender o comportamento da dinâmica climática tornam-se cada vez mais necessárias para qualquer planejamento que se deseja realizar. O conhecimento de como se comporta a pluviosidade em sua distribuição espaço-temporal representa importante mecanismo de organização e identificação de riscos ambientais principalmente em local que envolve grande concentração populacional (PINHEIRO, 2017, p.128).

Conforme apresentado na Figura 43 este autor realizou um levantamento da distribuição espaço-temporal da pluviosidade na Ilha do Maranhão no ano de 2016 e identificou que os menores volumes pluviométricos, em qualquer dos dois períodos climáticos do ano, ocorreram no quadrante norte/nordeste da Ilha, abrangendo todo o município da

²¹ “As condições das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre a porção Equatorial do Pacífico, também têm grande influência sobre as condições climáticas do Maranhão. Observa-se que nos anos de *El Nino* (aquecimento anômalo da TSM no Pacífico equatorial) e *La Nina* (resfriamento anômalo da TSM no Pacífico equatorial), este Estado apresenta maiores variações de distribuição espacial e temporal das chuvas, onde as consequências geralmente são proporcionais à intensidade do fenômeno que pode ser fraca, moderada ou forte. De modo geral os dois eventos climáticos podem representar prejuízos em vários segmentos da economia do Estado, como os empreendimentos agrícolas e a segurança social da população. Decorrente da atuação dos respectivos fenômenos geralmente tem-se totais pluviométricos mensais acima da média histórica nos anos de *La Nina* e abaixo da média histórica nos anos de *El Nino*” (UEMA/NUGEO, 2016, p. 81-82).

Raposa; os maiores volumes pluviométricos ocorreram, na parte sul/sudoeste da Ilha, no município de São Luís, em sua zona rural e distrito industrial (PINHEIRO, 2017).

Figura 43 - Distribuição pluviométrica em período chuvoso e de estiagem na Ilha do Maranhão, ano de 2016

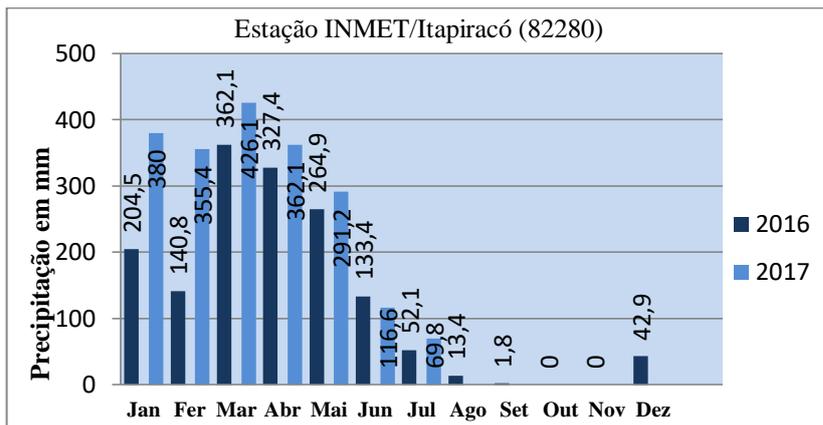


Fonte: Pinheiro (2017, p.138).

De todos os elementos que definem o tempo e o clima, a precipitação pluviométrica é que apresenta maior variabilidade, tanto espacial como temporal. Através do conhecimento da distribuição climatológica da precipitação pluviométrica (chuva) anual e mensal, se pode ter noção do potencial hídrico disponível ao longo do ano, ao longo do Estado, tornando-se, portanto, imprescindível para todos os setores da economia, [...]. O conhecimento do comportamento da chuva dá suporte para as previsões climáticas que são realizadas, durante o período chuvoso do Estado. (UEMA/NUGEO, 2016, p.82)

A pluviosidade em São Luís no biênio 2016-2017 apresentou diferenciações no tocante à sazonalidade das chuvas. O acumulado anual em 2016 foi de 1543,3 mm, os quais ocorrem de forma irregular, com déficits em meses onde normalmente ocorrem mais de 40% das chuvas. (Figura 44).

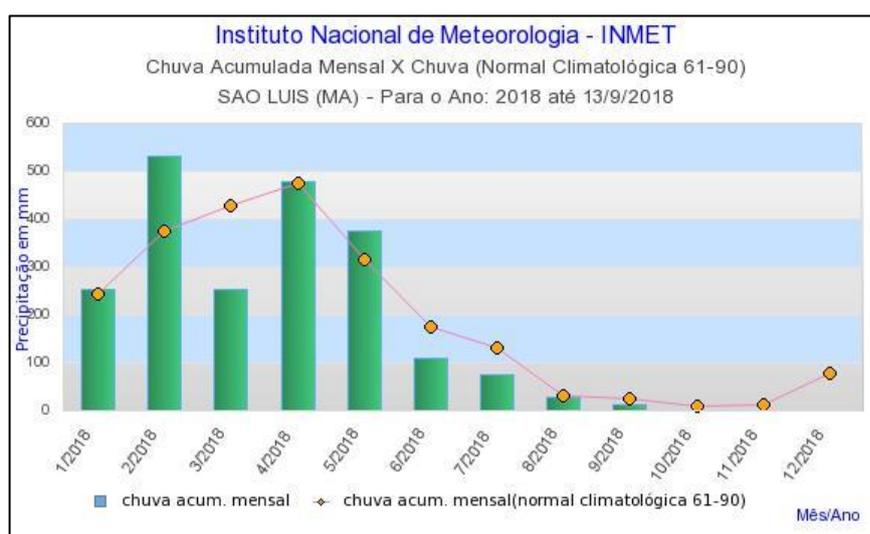
Figura 44 - Precipitação pluviométrica em 2016 e 2017



Fonte: Estação INMET (2017).

A figura 45 mostra o comportamento da pluviosidade em São Luís no período de janeiro a setembro de 2018, mostrando que os meses que mais choveram no primeiro semestre do recorrente ano foram fevereiro e abril. Desta forma, os gráficos deixam evidente que há um predomínio de dois períodos nítidos na Ilha do Maranhão, um chuvoso e outro seco, e ao longo do tempo, as chuvas tendem a se concentrar apresentando grande volume em um curto espaço de tempo, o que está diretamente ligada aos processos erosivos, aumentando o escoamento superficial e gerando feições erosivas como sulcos, ravinas e voçorocas.

Figura 45 - Precipitação pluviométrica no período de fevereiro a agosto de 2018



Fonte: Estação INMET (2018).

A relação entre intensidade pluviométrica, sazonalidade e propriedades do solo, é tida como um importante parâmetro na observação de situações responsáveis pela modificação da paisagem. À medida que a incidência de eventos torrenciais ocorre de maneira mal distribuída durante um ano, o acúmulo de água no solo em consonância com a inversão de energia potencial em energia cinética sobre as áreas instáveis provocam rápidas mudanças na estrutura superficial do solo (AZAMBUJA, 2007).

Outros dados referentes à precipitação pluviométrica do município de São Luís confirmam o padrão verificado nos dados anteriores e apresentam as médias mensais estimadas a partir das isoietas anuais médias no período de 1977 a 2006 (ANEXO H).

4.2.5 Hidrografia

O rio Anil tem cerca de 13,8 km de extensão, apresenta como limite ao norte a bacia litorânea; ao sul a bacia do rio Bacanga; a leste a bacia do rio Paciência e a oeste a Baía

de São Marcos, onde deságua juntamente com o rio Bacanga (ALCÂNTARA, 2004; CARDOSO; GONÇALVES, 2010). Conforme Macedo (2003), todo curso do rio Anil desenvolveu-se no sentido Sudeste/Nordeste, e devido à topografia plana de sua bacia, entre a área de influência marinha e a nascente, o rio apresenta uma drenagem de aspecto retilíneo.

Na porção nordeste do centro urbano da capital, o curso do rio Anil apresenta-se mais sinuoso, intercalado por pequenos riachos intermitentes. Possui influência marinha de 3,5 km e os efeitos dos fluxos de maré são marcantes em quase todo seu curso. O rio deságua entre o Cais da Sagração na Avenida Beira Mar, na Praia Grande e a Ponta do São Francisco, formando um ângulo agudo alcançando, junto com o rio Bacanga, a baía de São Marcos (MACEDO, 2003). Para a área de estudo foi elaborado o mapa de hierarquia fluvial através da atualização da base de dados gerada das cartas DSG (1980) onde se observa um total de 38 canais e existe o predomínio de canais de primeira ordem (Tabela 10 e Figura 46).

Tabela 10 - Quantidade de trechos dos Canais de Drenagem do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil

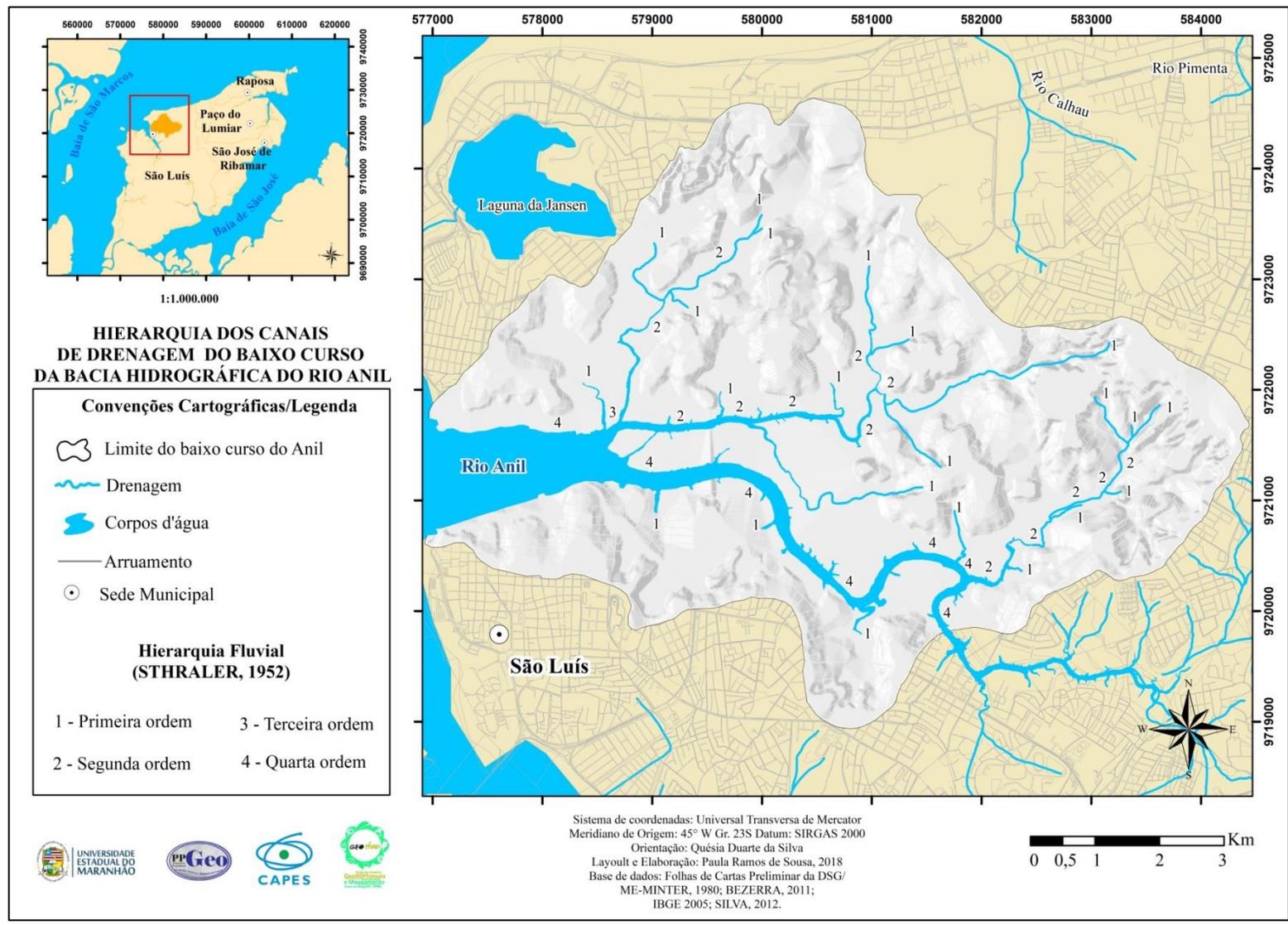
Hierarquia Fluvial (STRAHLER, 1952)	Quantidade de Trechos
1° ordem	22
2° ordem	13
3° ordem	1
4° ordem	7
Total	38

Fonte: Elaborado pela autora.

O sistema de Horton (1945) modificado por Strahler (1952) é atualmente o mais utilizado e assume os canais sem tributários como os de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordem, e assim sucessivamente (IBGE, 2009, p. 102).

De acordo com o IBGE (2009), este tipo de caracterização consiste em estabelecer um ordenamento na disposição dos canais para efeitos comparativos entre sub-bacias inseridas nos modelados. É um importante parâmetro morfométrico, essencial para a caracterização da rede de drenagem na descrição das unidades geomorfológicas.

Figura 46 - Mapa de Hierarquia de drenagem do baixo curso da bacia do Anil



5 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS E SUA RELAÇÃO COM A EXPANSÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESSOS EROSIVOS

A construção do presente capítulo se revestiu de alguns aspectos sobre as propriedades físicas dos solos para a compreensão dos processos erosivos. Contém ainda os resultados das análises dos parâmetros de densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total; infiltração de água no solo; a descrição geral e morfológica dos pontos amostrados; a classificação de subfeições erosivas e apresentação do esboço simplificado das classes de solos da área objeto de estudo.

5.1 Densidade do Solo, Densidade de Partículas e Porosidade Total

A densidade mais útil às aplicações práticas é a do solo, porque inclui o espaço poroso, ou seja, aquele que corresponde à massa de solo seco por volume. A densidade do solo baseia-se no volume ao natural (tal como o horizonte do solo se encontra na natureza); portanto, leva em conta os poros. Sendo assim, a densidade do solo pode variar em um mesmo horizonte de determinado solo porque depende da sua estrutura e da compactação.

A densidade do solo depende da natureza, das dimensões e da forma como estão dispostas as partículas do solo. Um mesmo tipo de solo pode apresentar valores diversos para a densidade do solo, pois este valor geralmente aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores.

A densidade de solo é uma das características importantes na avaliação dos solos. Essa característica está associada à estrutura, à densidade de partícula e à porosidade do solo, podendo ser usada como uma indicadora de processos de degradação da estrutura do solo, que pode mudar em função do uso e do manejo do solo. A determinação da compactação do solo também pode ser avaliada via densidade de solo (VIANA, 2008, p. 1).

A densidade de partículas corresponde à massa por unidade de volume de uma amostra de solo seco ou, melhor, à média da densidade de todas as partículas do solo, sem considerar os espaços porosos. Ao contrário da densidade do solo, a densidade de partículas independe da estrutura ou da compactação do solo, pois é função unicamente do tipo de partículas sólidas do solo.

A porosidade refere-se ao espaço, entre e dentro dos agregados, ocupado pelo ar ou pela água do solo. Um horizonte mineral do solo com boa porosidade terá cerca de 50% de seu volume ocupado pelos poros. O volume total de poros é o

somatório de todos os tamanhos: grandes, médios e pequenos, incluindo até os pequeníssimos capilares. Na prática raras vezes se encontram solos de textura grosseira com porosidade total inferior a 30% ou solos de textura fina com volume total de poros superior a 60%. Somente solos ricos em material coloidal apresentam porosidade entre 60 e 80% (KIEHL, 1979).

Através do método do anel volumétrico, as 13 amostras indeformadas foram submetidas à análise de densidade do solo e densidade de partículas sendo que a porosidade total foi obtida mediante os resultados dos parâmetros mencionados.

Ao avaliar em conjunto os dados referentes às amostras volumétricas dos cinco pontos de coleta, identificou-se que a densidade dos solos apresentou uma variação entre 1,66 e 1,99 g/cm³; quanto à densidade de partículas a variação ficou entre 2,50 e 2,85 g/cm³. A Porosidade Total variou entre 27 e 40% (Tabela 11).

Tabela 11 - Densidades e Porosidade de amostras volumétricas

Amostras Volumétricas	Densidade (g/cm ³)		Porosidade (%)
	Solo	Partículas	
1	1,80	2,50	28
2	1,77	2,73	35
3	1,68	2,77	39
4	1,71	2,59	34
5	1,91	2,85	33
6	1,99	2,81	29
7	1,89	2,59	27
8	1,96	2,85	31
9	1,83	2,85	36
10	1,76	2,59	32
11	1,68	2,73	38
12	1,83	2,66	31
13	1,66	2,81	40

Fonte: Elaborado pela autora.

Estes resultados apontam para uma relação direta com a compactação do solo nos pontos amostrais o que justifica o baixo percentual de porosidade total das amostras verificadas. Para se enquadrar um solo nos padrões normais e com boas taxas de permeabilidade kiehl (1979), afirma que a porosidade do solo deve variar entre 40 a 60 %.

De maneira geral os resultados apresentados refletem as características de solos arenosos e que devido ao processo de desmatamento e degradação somados a fragilidade natural deste tipo de solo possui alto grau de compactação o que contribui para a diminuição da resistência aos processos erosivos. Neste sentido, quanto maior é a compactação do solo menor será o espaço poroso existente entre as partículas que o compõem.

Os solos que tem menor porosidade são os arenosos, isso ocorre devido ao tamanho de suas partículas predominantemente grandes, neste caso a tendência é formar a disposição piramidal, que tem menor quantidade de espaço de vazios. Por outro lado, nas terras de textura fina as partículas não se arranjam de maneira tão compactada, pois a argila coloidal contribui para formar agregados que aumentam a porosidade.

Nota-se, portanto, que a análise de densidade do solo é um importante parâmetro de caracterização física da estrutura do solo, além de ser um indicador de compactação e manejo do solo. Afeta diretamente a infiltração e retenção de água, o desenvolvimento de raízes e de trocas gasosas.

5.2 Diagnóstico da Infiltração da Água nos Solos

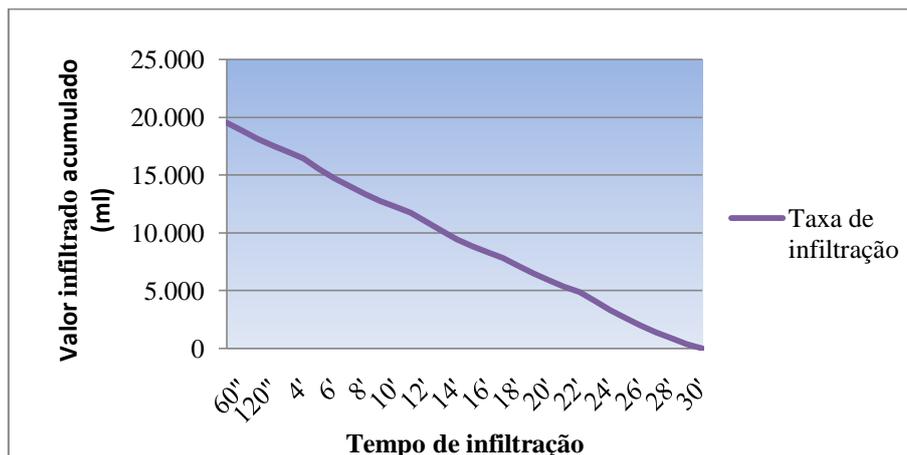
Foram realizados 5 (cinco) testes de infiltração em pontos específicos da área de estudo com ocorrência de solo exposto utilizando o infiltrômetro o qual permite avaliar a quantidade de água que penetra no solo em função do tempo.

Os resultados indicaram um comportamento comum em praticamente todos os testes devido às condições de ausência de cobertura vegetal e solos com presença de material muito friável, baixa porosidade e em alguns casos com formação de crostas.

No caso dos gráficos das áreas onde foram realizados os testes no baixo curso bacia do Anil, o comportamento retilíneo das curvas demonstra um regime estacionário do fluxo de infiltração (Figuras 47- 51).

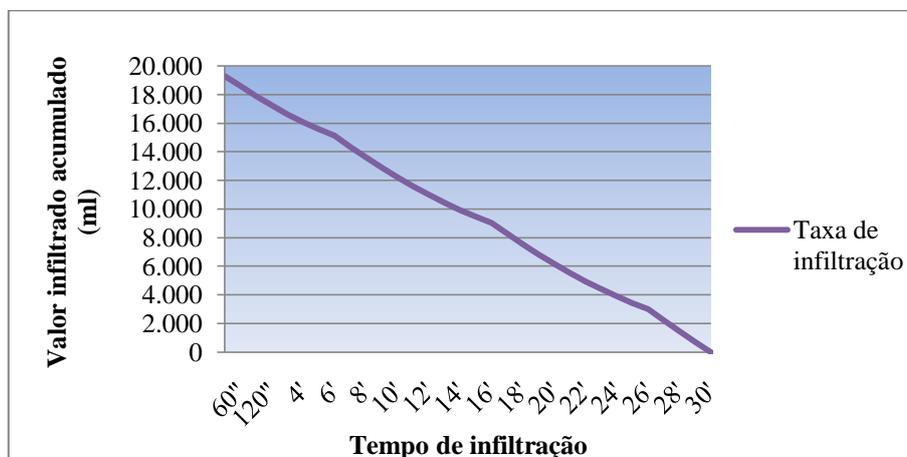
Considerando o volume total infiltrado nos testes realizados a média de infiltração se mostrou muito abaixo do normal com pequena variação entre os pontos analisados sendo que o maior valor médio de infiltração encontrado foi de 23,03 ml/min.

Figura 47 - Teste de infiltração – Sítio Santa Eulália (Ponto 1)



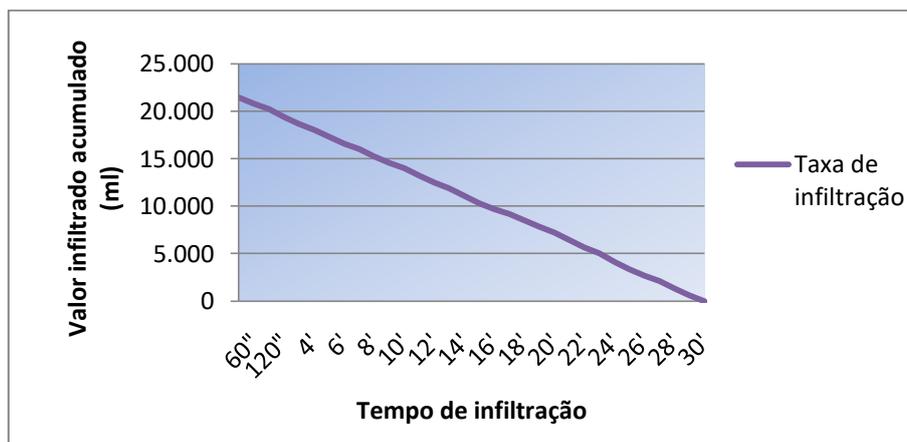
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 48 - Teste de infiltração – Via Expressa (Ponto 2)

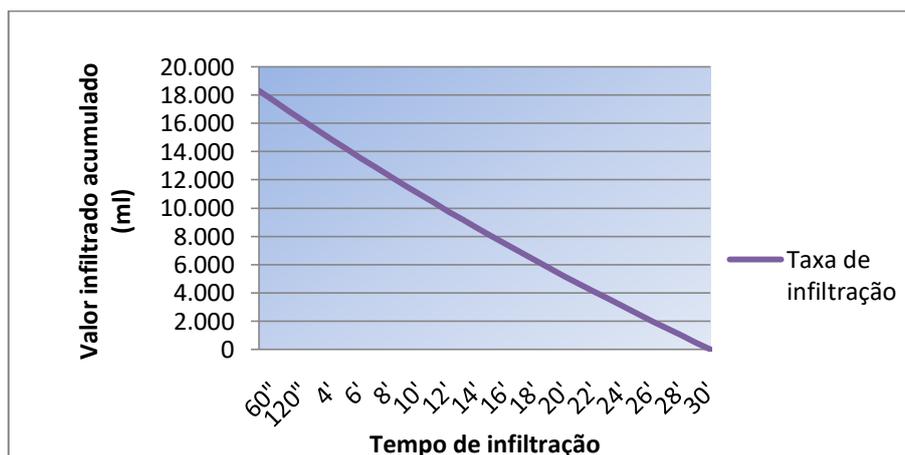


Fonte: Elaborado pela autora.

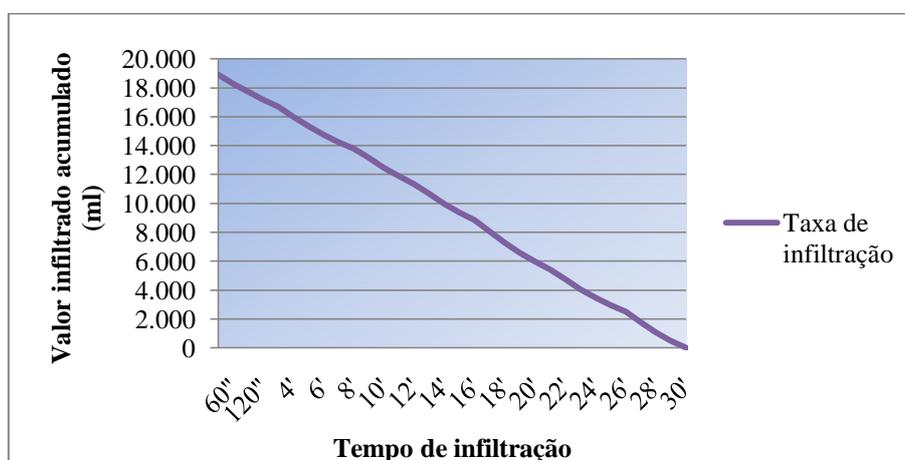
Figura 49 - Teste de infiltração – Via Expressa (Ponto 3)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 50 -Teste de infiltração – Via Expressa (Ponto 4)

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 51 - Teste de infiltração – Via Expressa (Ponto 5)

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao se considerar como parâmetro de análise os dados de estudos recentes realizados em 2015 na bacia hidrográfica do rio Bacanga em São Luís - MA, pelo grupo de Pesquisa GEOMAP da Universidade Estadual do Maranhão, a área de estudo mencionada apresentou uma baixa capacidade de infiltração de água nos pontos sem a cobertura vegetal, os resultados dos testes desta pesquisa mostram que na alta encosta sem cobertura vegetal houve um volume total de 659,4 ml infiltrados enquanto na baixa encosta infiltrou 643,7 ml. A pesquisa também revela que as áreas sem vegetação apresentam granulometricamente maior quantidade de areia, com densidade de partículas pouco resistente a erosão e um solo muito compactado com baixíssima

porosidade, resultando na baixa capacidade de infiltração do solo e maior quantidade de escoamento superficial gerado (BARROS, 2015).

Dessa forma é possível inferir um comportamento em condições similares à bacia hidrográfica do rio Anil onde as condições de fragilidade ambientais naturais atreladas aos aspectos de uso e ocupação de áreas que em suma deveriam ser preservadas ou no mínimo terem seus usos disciplinados pelo poder público tem apresentado um crescimento de processos erosivos lineares.

Outro estudo similar, realizado por Silva (2012b) utilizando a mesma metodologia para a determinação da capacidade de infiltração de água em diferentes usos de solos demonstrou que em condições naturais as taxas de infiltração se tornam satisfatórias em ambientes de mata preservada onde a saturação do solo se mantém estável indicando bom comportamento da infiltração.

5.3 Descrição dos Perfis dos Solos, Classificação das Subfeições Erosivas e Esboço Pedológico Simplificado

Este item apresenta o detalhamento dos pontos de observação e descrição dos perfis selecionados onde foi possível a realização do levantamento das características locais e validação dos dados em campo.

❖ Ponto de coleta e observação 1

O Ponto 1 (Latitude: 2° 30' 37,99" S Longitude: 44° 16' 39,06" W) está localizado na Zona de Reserva Florestal (Lei nº3.253/92) Sítio Santa Eulália e faz parte da área urbana do município de São Luís – MA. Predominam no local características de sedimentos inconsolidados do Grupo Barreiras (Terciário) e de relevo suave ondulado, vertentes retilíneas com declividades de 8% em média. Quanto às dimensões da voçoroca a mesma apresenta 30m de largura, 16m de comprimento e 2m de profundidade e possui forma linear.

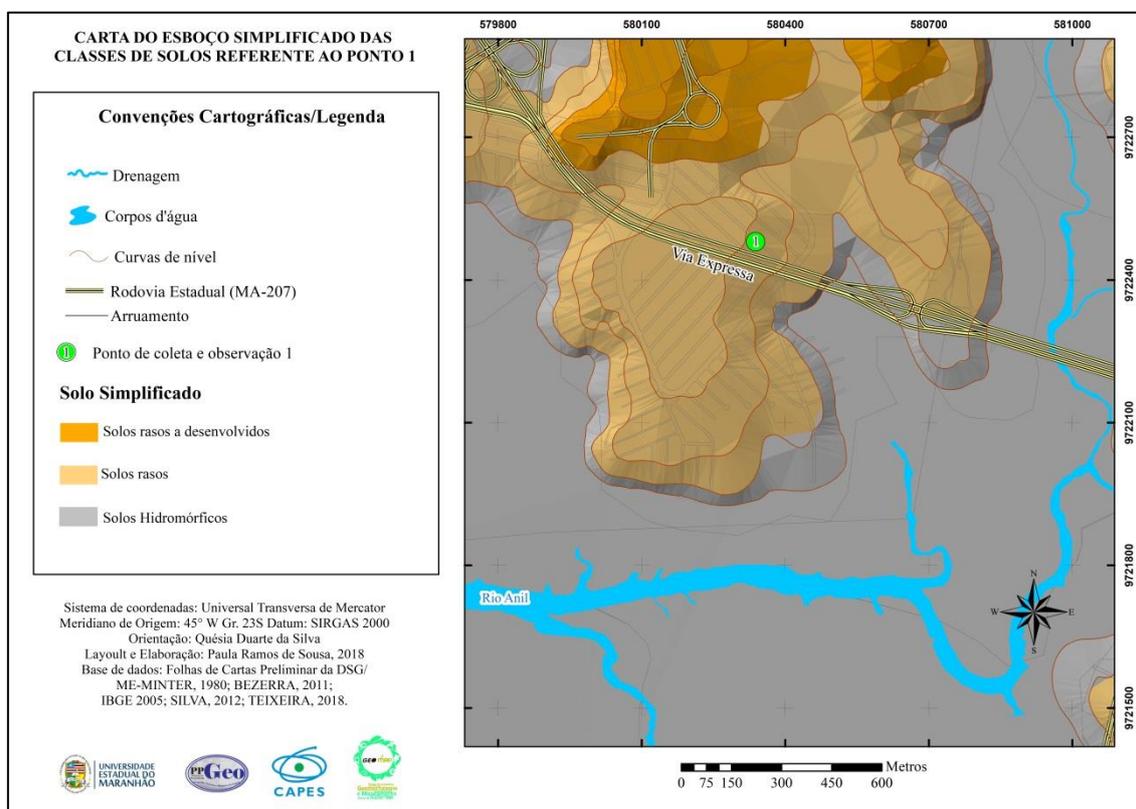
Conforme apresentado na Carta do Esboço Simplificado das Classes de Solos (Figura 52), os solos rasos associados aos Neossolos Quartzarênicos ocorrem com bastante frequência e caracterizam-se por serem solos arenosos. Compreendem os solos

constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico²².

Segundo a Embrapa (2018), os Neossolos não apresentam alterações expressivas 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 química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

Lepsch (2010, p. 114), afirma que os Neossolos Quartzarênicos, por serem muito arenosos, apresentam limitações pela baixa capacidade de armazenar água e nutrientes para as plantas.

Figura 52 – Carta do Esboço Pedológico Simplificado do Sítio Santa Eulália associado ao Ponto 1



Fonte: Elaborado pela autora.

²² “A conceituação de **horizonte diagnóstico** constitui matéria pertinente ao estabelecimento de requisito referente a um conjunto de propriedades selecionadas, em grau arbitrado como expressivo, por razão de conveniência (arbítrio) para construção taxonômica, adotado para criar, identificar e distinguir classes (táxons) de solos” (IBGE, 2015, p. 47, grifo do autor).

As pesquisas em campo também permitiram a identificação de subfeições erosivas – *demoiselles*²³, filetes²⁴, dutos²⁵, (Figuras 53 - 57) que estão associadas aos principais mecanismos atuantes na formação e na evolução de ravinas e voçorocas.

Figura 53 – Detalhe de pedestal (*demoiselles*)



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 54 - Ocorrência de pedestais intercalados com remoção de partículas pelo escoamento superficial



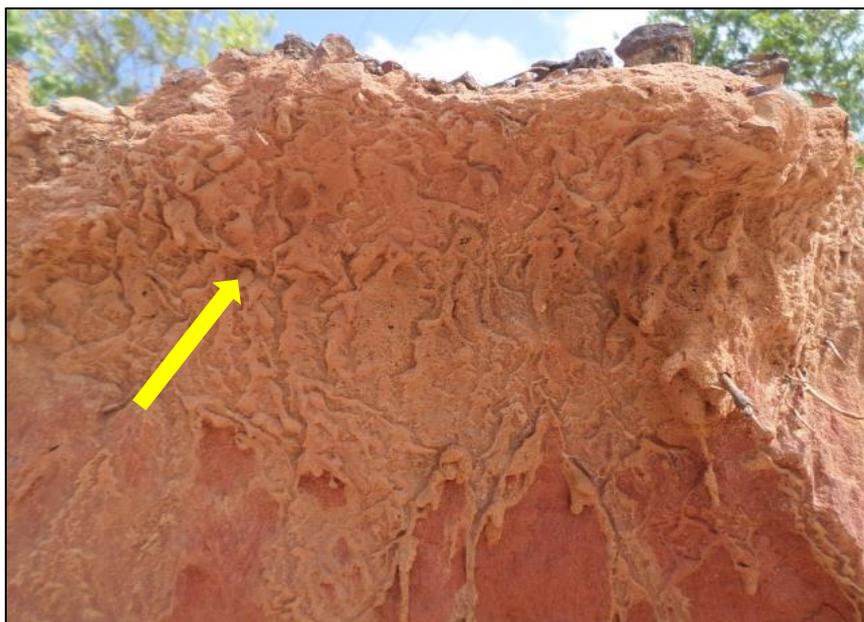
Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

²³ Também chamadas de erosão em pedestal, são uma forma de erosão com desenvolvimento lento, ocorrendo quando o solo erodível é protegido da ação do salpicamento, seja por seixo ou por uma camada de solo oxidada. Através deste tipo de erosão é possível deduzir, aproximadamente, qual o volume de solo erodido, tendo como base a altura dos pedestais;

²⁴ São encontrados, preferencialmente, em paredes de voçorocas esculpidas em materiais pouco coesivos em contato com materiais de maior coesão;

²⁵ Fendas e dutos indicam a existência de movimento generalizado da encosta em torno da incisão erosiva. Tais feições podem servir de passagem para água oriunda tanto da superfície da encosta quanto do lençol freático, constituindo o que geralmente se denomina de erosão por *pipes*.

Figura 55 - Filetes de escoamento superficial



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 56 - Presença de atividade biológica



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 57 - Duto no interior da voçoroca

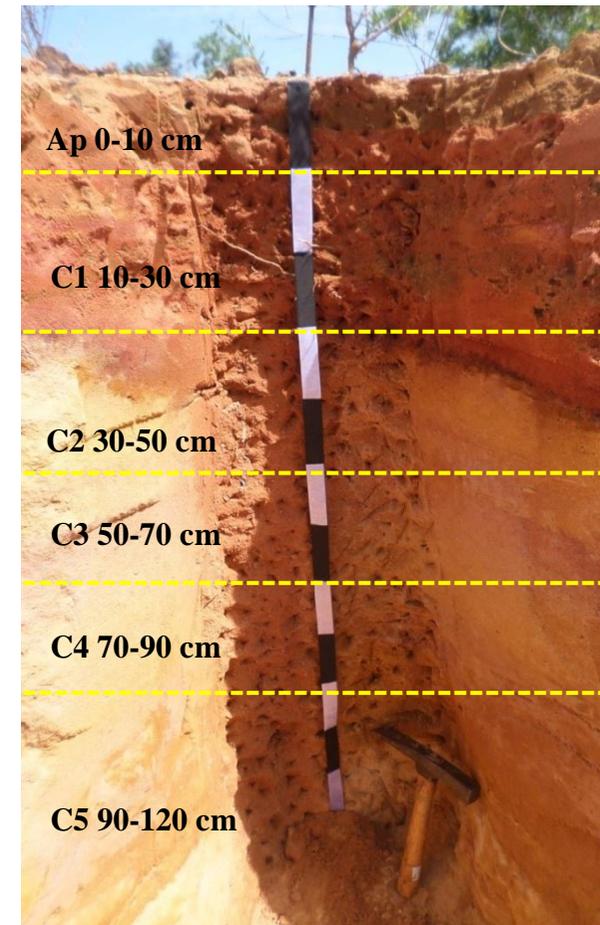


Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Conforme os dados apresentados na descrição Geral do **Perfil 1** e descrição morfológica associado ao **Ponto 1** houve predomínio de cores vermelhas tanto em solos secos como úmidos e destaque para classe textural areia (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12 - Descrição geral do Perfil 1 associado ao Ponto 1

Data:	30.01.2018
Perfil N°:	1
Classificação do SiBCS:	Neossolo Quartzarênico
Unidade de Mapeamento:	RQ
Localização:	As margens da Rodovia MA 207. Via Expressa. Município de São Luís – MA. Latitude: 2° 30' 37,99" S Longitude: 44° 16' 39,06" W
Situação, Declividade e Cobertura vegetal sobre o perfil:	Terço superior de colina, com declividade média de 8% e vegetação secundária mista.
Altitude:	20m
Litologia, Unidade Litoestratigráfica e cronológica:	Sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas. (Grupo Barreiras) Terciário.
Pedregosidade:	Não pedregosa
Rochosidade:	Não rochosa
Relevo Local:	Suave Ondulado
Relevo Regional:	Colinas esparsas
Erosão:	Muito forte
Drenagem:	Excessivamente drenado
Vegetação Primária:	Floresta Ombrófila Densa
Uso Atual:	Zona de Reserva Florestal (Lei n° 3.253/92)
Descrito e Coletado Por:	Paula Ramos e Ricardo Santana



Fonte: Elaborado pela autora.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0 – 10 cm, vermelho (2.5Y 4/8, seco) e vermelho-escuro (7.5YR 3/8, úmido); areia; médio e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: solta; em solo úmido solta; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C1 10 – 30 cm, vermelho claro (2.5Y 6/6, seco) e vermelho (10YR 4/8, úmido); areia; pequena e granular; consistência em solos seco: solta; em solo úmido muito solta; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C2 30 – 50 cm, vermelho (2.5Y 4/8, seco) e vermelho-escuro (10YR 3/6, úmido); areia; granular e muito pequena; textura arenosa; consistência em solos seco: solta; em solo úmido solta; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C3 50 – 70 cm, bruno forte (7.5YR 5/8, seco) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); areia; granular e muito pequena; textura arenosa; consistência em solos seco: solta; em solo úmido solta; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C4 70 – 90 cm, amarelo avermelhado (7.5YR 6/8, seco) e bruno forte (7.5YR 5/6, úmido); franco arenosa; médio e blocos angulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido: friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- C5 90 – 120 cm, bruno forte (7.5YR 5/8, seco) e amarelo-avermelhado (7.5YR 6/8, úmido); areia franca; médio e blocos angulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido: friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Raízes: raras e finas no Ap; poucas no C1.

Tabela 13 - Resultados das análises texturais do Perfil 1

Horizontes	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	(g.km ⁻¹)			
P1-Ap	890	37	73	Areia
P1-C1	906,2	59,8	34	Areia
P1-C2	869,7	85,3	45	Areia
P1-C3	858,0	89	53	Areia

P1-C4	597,2	353,8	49	Franco-arenosa
P1-C5	853,2	11,8	135	Areia franca

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a descrição morfológica do primeiro ponto, o tamanho dos torrões das amostras variou entre muito pequeno, pequeno e médio com as formas granular, blocos angulares e subangulares. Estes parâmetros indicam que mesmo no mesmo perfil de solo analisado podem ser identificados diferentes tipos de estrutura em sua composição. As camadas mais superficiais apresentaram uma textura arenosa enquanto que as mais profundas obtiveram textura predominantemente média. Em condições de solo úmido a consistência variou entre solta e friável muito comum em solos arenosos.

❖ Ponto de coleta e observação 2

No Ponto 2 (Latitude: 2° 30' 54,09"S Longitude: 44° 16' 11,72"W) localizado as margens da Via Expressa (MA 207) foi identificada a presença de material tecnogênico e resíduos sólidos, além da ocorrência de processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) e subfeições associadas (Figuras 58 - 60).

Figura 58 - Presença de resíduos tecnogênicos no interior no processo erosivo



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 59 - Fluxo superficial concentrado, direção do escoamento e formação de sulcos



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 60 - Formação de filetes subverticais

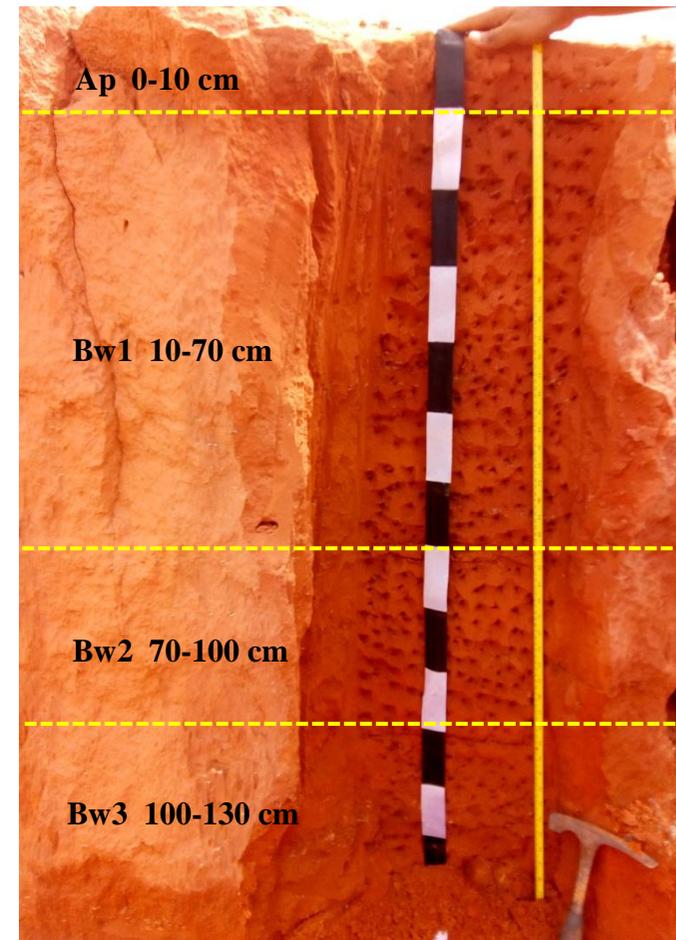


Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Predominam as colinas esparsas com declividade média de 13%. De acordo com a descrição geral do Perfil representativo da área há características similares aos Latossolos (L) que estão associados aos solos desenvolvidos, arenosos de textura média (Tabelas 14 e 15). Ocorrem também sedimentos inconsolidados do Grupo Barreiras (Terciário).

Tabela 14 - Descrição geral do Perfil 2 associado ao Ponto 2

Data:	24.05.2018
Perfil N°:	2
Classificação do SiBCS:	Latossolo
Unidade de Mapeamento:	L
Localização:	As margens da Rodovia MA 207. Via Expressa. Município de São Luís – MA. Latitude: 2° 30' 54,09"S Longitude: 44° 16' 11,72"W
Situação, Declividade e Cobertura vegetal sobre o perfil:	Terço superior de colina, com declividade média de 13% e ausência de cobertura vegetal.
Altitude:	20m
Litologia, Unidade Litoestratigráfica e cronológica:	Sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas. (Grupo Barreiras) Terciário.
Pedregosidade:	Não pedregosa
Rochosidade:	Não rochosa
Relevo Local:	Ondulado
Relevo Regional:	Colinas esparsas
Erosão:	Muito forte
Drenagem:	Moderadamente drenado
Vegetação Primária:	Floresta Ombrófila Densa
Uso Atual:	Área de expansão urbana
Descrito e Coletado Por:	Paula Ramos e Ricardo Santana



Fonte: Elaborado pela autora.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0 – 10 cm, vermelho (2.5YR 4/6, seco) e vermelho (2.5YR 4/8, úmido); franco arenosa; pequena e blocos angulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bw1 10 – 70 cm, vermelho (2.5YR 5/6, seco) e vermelho (2.5YR 4/8, úmido); arenosa; média e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bw2 70 – 100 cm, vermelho-claro (2.5YR 6/6, seco) e vermelho (2.5YR 4/6, úmido); areia franca; média e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido muito friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bw3 100 – 130 cm, bruno-forte (7.5YR 5/8, seco) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); franco arenosa; média e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Raízes: comuns e finas no Ap; poucas no Bw1 e Bw2.

Tabela 15 - Resultados das análises texturais do Perfil 2

Horizontes	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
	(g.km ⁻¹)			
P2-Ap	754	64	182	Franco-arenosa
P2-Bw1	899	78	23	Areia
P2-Bw2	864	86	50	Areia franca
P2-Bw3	762	66	172	Franco-arenosa

Fonte: Elaborado pela autora.

Na descrição morfológica do segundo perfil amostrado, o tamanho dos torrões das amostras variou entre pequeno e médio apresentando formas de blocos

angulares e subangulares com predomínio deste último. Todas as camadas apresentaram uma textura média indicando um padrão mais similar nas camadas subsequentes. Em condições de solo úmido a consistência não apresentou variação sendo todas classificadas como friável.

❖ Ponto de coleta e observação 3

No **Ponto 3** (Latitude: 2° 30' 52,11" S Longitude: 44° 16' 09,34" W) também localizado próximo da Via Expressa (MA 207) observa-se a ocorrência de sedimentos inconsolidados do Grupo Barreiras, porém nas proximidades deste ponto ocorrem também os Depósitos de Mangue (Figura 61). O relevo caracteriza-se por ser ondulado com declividade média de 10%, além da presença de laterita e feições erosivas (sulcos e ravinas²⁶, alcovas de regressão²⁷) nas áreas de solo exposto (Figuras 62 - 64).

Figura 61 - Áreas de mangue nas proximidades do ponto de coleta 3



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

²⁶ Formados na superfície exposta do talude, no interior das voçorocas, indicam o caminho preferencial do escoamento superficial concentrado;

²⁷ São feições erosivas que podem ser observados sob diferentes condições litológicas e climáticas, podendo ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais quanto pelo afloramento do lençol freático, ou pela combinação desses dois mecanismos.

Figura 62 - Direção do Fluxo de escoamento e presença de alcovas de regressão



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 63 - Área de solo exposto com presença de ravinas



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 64 – Área de solo exposto

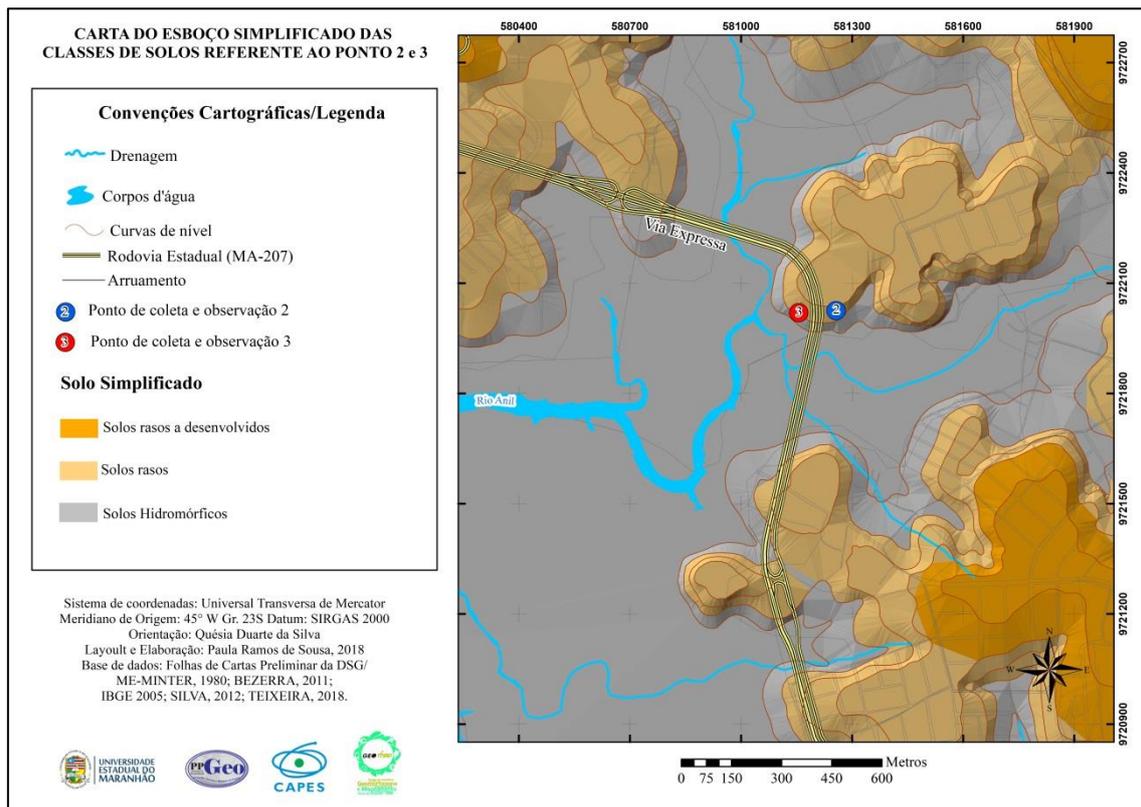


Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Conforme apresentado na Carta do Esboço Pedológico e na descrição geral, na área predominam os solos rasos com características associadas aos Neossolos Quartzarênicos (Figura 65 e Tabelas 16 e 17).

Segundo a Embrapa (2015, p. 32), estes solos geralmente possuem alta suscetibilidade à erosão devido às condições de baixa capacidade de retenção de água e elevada lixiviação dos nutrientes o que representa uma fragilidade textural típica de solos com horizonte superficial mais arenoso.

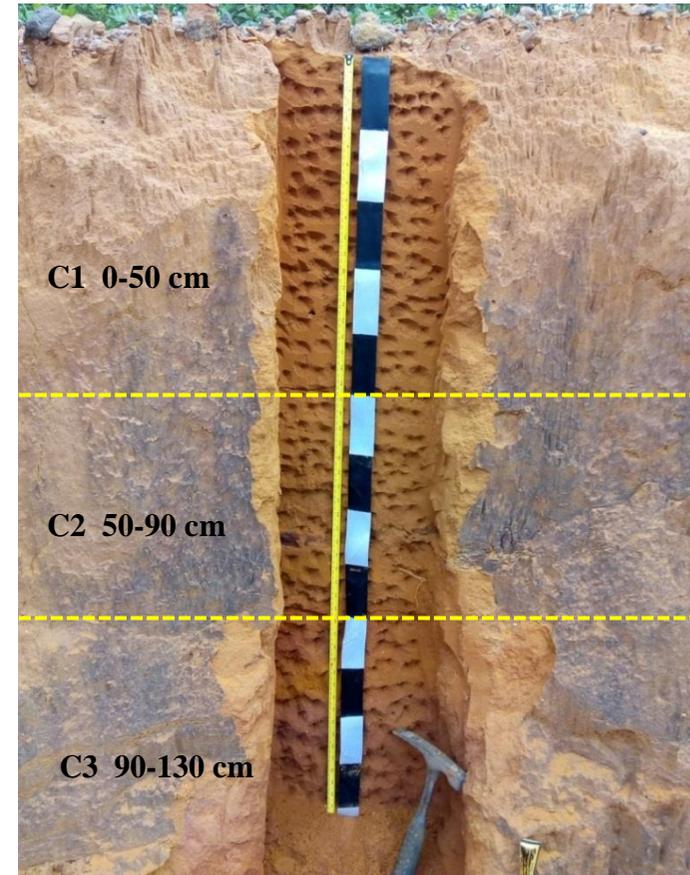
Figura 65 – Carta do Esboço Pedológico Simplificado da Via Expressa associado ao Ponto 2 e Ponto 3



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16 - Descrição geral do Perfil 3 associado ao Ponto 3

Data:	24.05.2018
Perfil N°:	3
Classificação do SiBCS:	Neossolo Quartzarênico
Unidade de Mapeamento:	RQ
Localização:	As margens da Rodovia MA 207. Via Expressa. Município de São Luís – MA. Latitude: 2° 30' 52,11" S Longitude: 44° 16' 09,34" W
Situação, Declividade e Cobertura vegetal sobre o perfil:	Terço médio de colina, com declividade média de 10% e ausência de cobertura vegetal.
Altitude:	17m
Litologia, Unidade Litoestratigráfica e cronológica:	Sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas. (Grupo Barreiras) Terciário.
Pedregosidade:	Pedregosa
Rochosidade:	Não rochosa
Relevo Local:	Ondulado
Relevo Regional:	Colinas esparsas
Erosão:	Muito forte
Drenagem:	Excessivamente drenado
Vegetação Primária:	Floresta Ombrófila Densa
Uso Atual:	Área de expansão urbana
Descrição e Coletado Por:	Paula Ramos e Ricardo Santana



Fonte: Elaborado pela autora.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- C1 0 – 50 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco) e vermelho (2.5YR 4/6, úmido); arenosa; média e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C2 50 – 90 cm, bruno-forte (7.5YR 5/6, seco) e bruno-forte (7.5YR 4/6, seco); areia franca; pequena e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido muito friável; plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C3 90 – 130 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/6, úmido); arenosa; pequena e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- Raízes: comuns e finas no C1; poucas no C2 e C3.

Tabela 17 - Resultados das análises texturais do Perfil 3

Horizontes	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
	(g.km ⁻¹)			
P3-C1	913	0	87	Areia
P3-C2	888	13	99	Areia franca
P3-C3	920	0	80	Areia

Fonte: Elaborado pela autora.

A descrição morfológica do terceiro ponto, mostra que houve variação do tamanho dos torrões entre pequeno e médio e predomínio de formas em blocos subangulares. Todas as camadas avaliadas apresentaram textura média representando uma característica de solos com camadas superficiais arenosas. Em condições de solo úmido a consistência se apresentou como muito friável.

❖ Ponto de coleta e observação 4

O Ponto 4 (Latitude: 2° 31' 19,64" S Longitude: 44° 16' 17,43" W) está localizado na comunidade do “Barreiro” situado nas proximidades da Via Expressa.

Predominam na área características de relevo suave ondulado, vertentes retilíneas com declividade média de 15%.

Os solos rasos associados aos Neossolos Quartzarênicos ocorrem também neste ponto com ocorrência de sedimentos do Grupo Barreiras (Terciário) (Tabelas 18 e 19). A área está ocupada há mais de 10 (dez) anos, e apresenta problemas relacionados ao descarte irregular de resíduos sólidos pela própria comunidade do entorno, além do desmatamento e consequente ocorrência dos processos erosivos (Figuras 66-67).

Figura 66 - Presença de resíduos sólidos domésticos no Ponto de observação 4



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

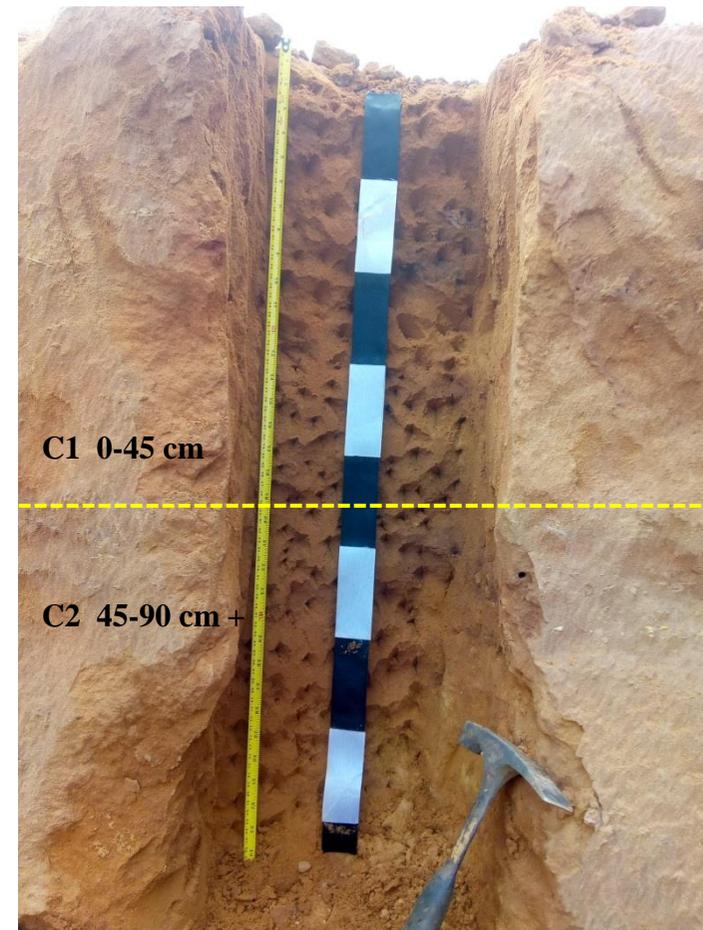
Figura 67 - Gretas de contração na superfície do solo e Voçoroca nas proximidades da comunidade do “Barreiro”



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Tabela 18 - Descrição geral do Perfil 4 associado ao Ponto 4

Data:	24.05.2018
Perfil N°:	4
Classificação do SiBCS:	Neossolo Quartzarênico
Unidade de Mapeamento:	RQ
Localização:	As margens da Rodovia MA 207. Via Expressa. Município de São Luís – MA. Latitude: 2° 31' 19,64" S Longitude: 44° 16' 17,43" W
Situação, Declividade e Cobertura vegetal sobre o perfil:	Terço médio de colina, com declividade média de 15% e ausência de cobertura vegetal.
Altitude:	19m
Litologia, Unidade Litoestratigráfica e cronológica:	Sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas. (Grupo Barreiras) Terciário.
Pedregosidade:	Não Pedregosa
Rochosidade:	Não rochosa
Relevo Local:	Ondulado
Relevo Regional:	Colinas esparsas
Erosão:	Muito forte
Drenagem:	Excessivamente drenado
Vegetação Primária:	Floresta Ombrófila Densa
Uso Atual:	Área de expansão urbana e solo exposto
Descrição e Coletado Por:	Paula Ramos e Ricardo Santana



Fonte: Elaborado pela autora.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- C1 0 – 45 cm, bruno-forte (7.5YR 5/8, seco) e bruno-forte (7.5YR 4/6, úmido); arenosa; pequena e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C2 45 – 90 cm+, amarelo-avermelhado (7.5YR 6/6, seco) e bruno-forte (7.5YR 4/6, seco); areia franca; pequena e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- Raízes: raras e finas no C1; ausentes no C2.

Tabela 19 - Resultados das análises texturais do Perfil 4

Horizontes	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
	(g.km ⁻¹)			
P4-C1	932	0	68	Areia
P4-C2	896	17	87	Areia franca

Fonte: Elaborado pela autora.

O quarto ponto de caracterização morfológica, apresentou uma estrutura de torrões pequenos com predomínio de blocos subangulares. As camadas avaliadas apresentaram textura média e consistência de solo úmido muito friável o que indica também uma alta fragilidade deste tipo de solo.

❖ Pontos de coleta e observação 5

No **Ponto 5** (Latitude: 2° 31' 27,42"S Longitude: 44° 16' 09,64" W) foi identificada uma voçoroca em estágio de evolução e presença de laterita no seu entorno. Quanto às dimensões a mesma apresenta 6,50m de largura, 26,5m de comprimento e 1,80m de profundidade e possui forma ovalar. (Figuras 68-71).

A declividade média no referido ponto é de 8%. Na área predominam relevo suave ondulado e influência de sedimentos do Grupo Barreiras (Terciário). Localizado as margens da Via Expressa (MA 207) predominam solos rasos e solos rasos a desenvolvidos

com características similares aos Latossolos (L) conforme apresentado na Carta do Esboço Pedológico da área (Figura 72).

Figura 68 - Voçoroca em áreas de ocupação no seu entorno ao lado da Via Expressa



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Figura 69 - Aspecto da voçoroca e presença de laterita



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

Os Latossolos são muito intemperizados, com pequena diferenciação de horizontes e, na sua maior parte, sem microagregados nítidos no horizonte B. Conforme a

Embrapa (2018), são solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Tabelas 20 e 21).

Os perfis mais típicos apresentam horizonte A pouco espesso e com transição difusa para um B latossólico²⁸ muito espesso, com consistência muito friável e colorações que variam de vermelhadas a amareladas (LEPSCH, 2010).

Figura 70- Movimento de massa e solapamento da base próximo a Voçoroca



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

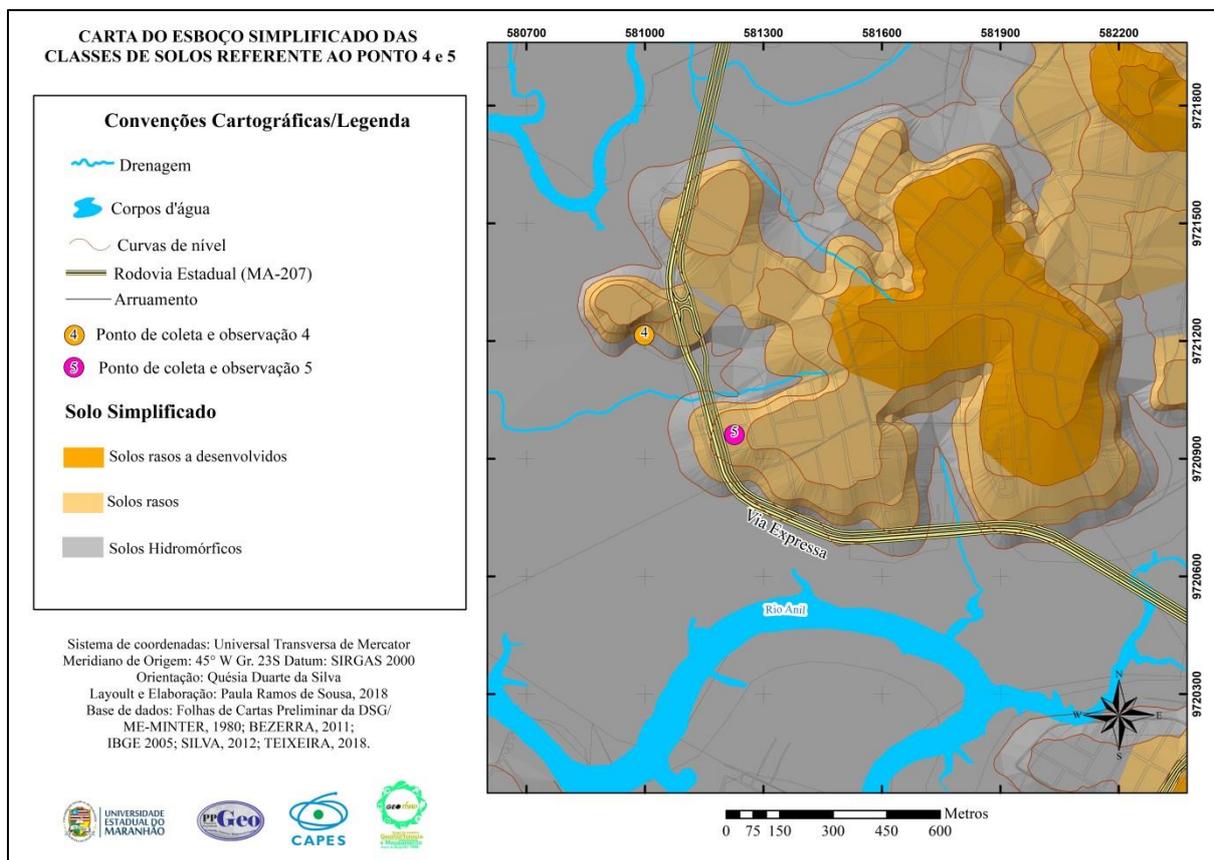
Figura 71 - Talude em corte de estrada com rede de ravinas próximo ao Ponto 5



Fonte: SOUSA, Paula Ramos de. Acervo pessoal.

²⁸ É um horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização, explícita pela alteração quase completa dos minerais facilmente alteráveis. Apresenta diferenciação pouco nítida entre os seus sub-horizontes, com transição de maneira geral difusa.

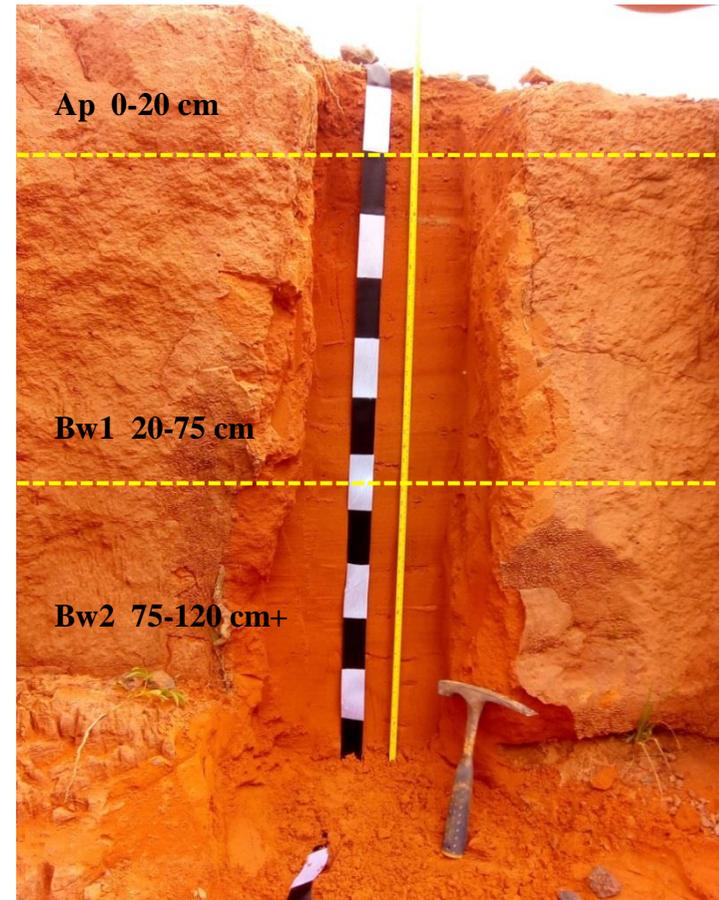
Figura 72 – Carta do Esboço Pedológico Simplificado da Via Expressa associado ao Ponto 4 e Ponto 5



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 20 - Descrição geral do Perfil 5 associado ao Ponto 5

Data:	24.05.2018
Perfil N°:	5
Classificação do SiBCS:	Latossolo
Unidade de Mapeamento:	L
Localização:	As margens da Rodovia MA 207. Via Expressa. Município de São Luís – MA. Latitude: 2° 31' 27,42"S Longitude: 44° 16' 09,64" W
Situação, Declividade e Cobertura vegetal sobre o perfil:	Terço superior de colina, com declividade média de 8% e ausência de cobertura vegetal.
Altitude:	21m
Litologia, Unidade Litoestratigráfica e cronológica:	Sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas. (Grupo Barreiras) Terciário.
Pedregosidade:	Pedregosa
Rochosidade:	Não rochosa
Relevo Local:	Suave ondulado
Relevo Regional:	Colinas esparsas
Erosão:	Muito Forte
Drenagem:	Moderadamente drenado
Vegetação Primária:	Floresta Ombrófila Densa
Uso Atual:	Área de expansão urbana e solo exposto
Descrição e Coletado Por:	Paula Ramos e Ricardo Santana



Fonte: Elaborado pela autora.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0 – 20 cm, vermelho (2.5YR 5/6, seco) e vermelho (2.5YR 4/6, úmido); franco arenosa; pequena e blocos subangulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bw1 20 – 75 cm, vermelho (2.5YR 5/8, seco) e vermelho (2.5YR 4/8, úmido); areia franca; pequena e blocos angulares; textura média; consistência em solos seco: ligeiramente dura; em solo úmido friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bw2 75 – 120 cm+, vermelho (2.5YR 5/6, seco) e vermelho (7.5YR 4/8, seco); areia franca; média e blocos angulares; textura média; consistência em solos seco: macia; em solo úmido muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- Raízes: Raras e finas no Ap; poucas no Bw2.

Tabela 21 - Resultados das análises texturais do Perfil 5

Horizontes	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
	(g.km ⁻¹)			
P5-Ap	798	21	181	Franco-arenosa
P5-Bw1	852	18	130	Areia franca
P5-Bw2	901	0	99	Areia franca

Fonte: Elaborado pela autora.

No quinto e último ponto de descrição morfológica o tamanho dos torrões das amostras variou entre pequeno e médio com ocorrência de formas em blocos angulares e subangulares. Todas as camadas apresentaram uma textura média. Em condições de solo úmido a consistência variou entre friável e muito friável comum em solos de perfil superficial arenoso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos estudos sobre a erosão dos solos e seus efeitos a médio e longo prazos já realizados no Estado e especificamente em vários pontos da Ilha do Maranhão tem apresentado um panorama de diagnósticos e prognósticos com resultados substanciais passíveis de serem utilizados por pesquisadores de diversos seguimentos, pelo poder público e pela comunidade em geral.

A análise das áreas degradadas por processos erosivos tendo como base a complexidade dos elementos da paisagem foram significativos para a compreensão do atual quadro ambiental e suas inter-relações considerando que as áreas já apresentam uma suscetibilidade natural para ocorrência de feições erosivas (sulcos, ravinas e voçorocas) além da ocorrência de subfeições (pedestais, dutos e filetes subverticais).

Estas feições ocorrem predominantemente nas classes hipsométricas que variam de 10 a 20 metros, em áreas de terço médio e superior de colinas esparsas e vertentes retilíneas. A descrição geral e morfológica dos cinco perfis amostrados foi fundamental para subsidiar a elaboração dos mapas temáticos e caracterização das classes de solos da área objeto de estudo com base no SiBCS.

A elaboração do esboço simplificado das classes de solos trouxe o embasamento necessário para caracterização de mais duas classes de solos não identificadas anteriormente e que são considerados solos frágeis. Neste sentido predominam nos pontos de coleta e observação solos rasos associados aos Neossolos Quartzarênicos (RQ) e solos rasos a desenvolvidos de textura arenosa com características associadas aos Latossolos (L).

Por meio da análise textural foi possível identificar a ocorrência das classes texturais Areia, Areia franca e Franco-arenosa. Os solos arenosos contribuem para uma maior suscetibilidade a ocorrência dos processos erosivos lineares, pois é um tipo de solo que estando desprovido de sua camada protetora, no caso a vegetação, tende a responder de forma significativa aos efeitos hidrológicos que atuam na geração do escoamento superficial.

Os resultados das análises de densidade e porosidade mostraram que nas áreas de solo exposto os percentuais destes parâmetros indicam uma compactação dos solos e conseqüentemente um baixo percentual dos espaços porosos o que permite uma rápida saturação do solo favorecendo o processo de escoamento superficial e contribuindo para a fase inicial do processo erosivo.

Neste sentido, a suscetibilidade à erosão da área objeto de estudo está relacionada também às condições de baixa capacidade de retenção de água no solo condicionada pelo processo de escoamento superficial, alto nível de compactação o que representa uma fragilidade típica de solos com horizonte superficial mais arenoso e com déficit de cobertura vegetal.

Apesar da existência de Leis específicas de ordenamento para o uso do solo é muito frequente as modificações impostas na paisagem e o conseqüente agravamento de problemas ambientais devido ao avanço do desmatamento e exposição do solo aos agentes externos.

O resgate histórico do desenvolvimento urbano da cidade de São Luís demonstrou que a ocupação de áreas verdes é reflexo de políticas públicas ineficientes e de uma especulação imobiliária que contribui para o crescimento de áreas de assentamentos espontâneos gerando um comprometimento dos recursos naturais.

Todos estes levantamentos revelaram que as características pedológicas associadas ao uso e ocupação com conseqüente modificação do ambiente natural, inserção de materiais tecnogênicos, tem gerado ao longo do tempo a alteração e degradação progressiva da paisagem local.

É necessário ainda um aprofundamento de temas sobre a gestão ambiental de áreas degradadas objetivando uma ampliação dos estudos sobre os processos erosivos e as formas de controle e recuperação do problema abordado.

A geomorfologia pode ser uma grande aliada no enfrentamento da degradação dos solos permitindo assim uma avaliação conjunta dos elementos da paisagem e a percepção da importância para a manutenção desse recurso natural tão complexo e fundamental para as atividades humanas.

Considera-se, portanto que os estudos com abordagens ambientais urbanas principalmente no que se refere ao uso e ocupação do solo e os impactos decorrentes destas ações sem planejamento adequado são imprescindíveis para a gestão de áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A.R.C. **Aplicação de técnicas geoambientais para reabilitar áreas degradadas na base geólogo Pedro de Moura: bacia do rio Urucu (Coari – AM)**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da UFRJ, Rio de Janeiro, 2007, 282p.
- ALCÂNTARA, E. H. Mudanças climáticas, incertezas hidrológicas e vazão fluvial: o caso do estuário do Rio Anil. **Caminhos de Geografia**, 8(12)158-173, Jun/2004.
- ALMEIDA, L. Q. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo, SP: Cultura acadêmica, 2012. 215 p. Disponível em: http://www.culturaacademica.com.br/catalogo-detalle.asp?ctl_id=332. Acesso em: 24 jun. 2017.
- ARAÚJO, F. da L.; SILVA, M. L. da.; DUARTE, A. C.; CAMPOS, A. A. C.; NUNES, Z. M.; CELERI, M. J.; SALES, D. N. Principais Problemas Ambientais da Ilha do Maranhão. In: FARIAS FILHO, M. S.; CELERI, M. J. (org.). **Geografia da Ilha do Maranhão**. São Luís: EDUFMA, 2015. p. 249-258.
- ARAÚJO, G.H.S; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. 2. ed. Rio de Janeiro, 2018.
- AZAMBUJA, R. N. **Análise geomorfológica em áreas de expansão urbana no Município de Garanhuns – PE**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia. Recife, 2007, 153p.
- BARROS, D. V. **Situação das áreas com movimentos de massa na bacia Hidrográfica do Bacanga, Ilha do Maranhão – MA**. Relatório de Iniciação Científica. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2015.
- BARROS, R.C.; GUERRA, A.J.T. Propriedades do solo relacionadas à erodibilidade: um estudo comparativo no município de Petrópolis – RJ. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE, 4., Cuiabá, MT **Anais** [...]. Cuiabá, MT, 1993.
- BERNARDES, J. A.; FERREIRA, F. P. M. Sociedade e Natureza. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (org.). **A questão ambiental**: Diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 17-42.

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, Maranhão**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

BEZERRA, J. F. R.; MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, A. J. T.; FEITOSA, A. C. Proposta de recuperação em áreas degradadas por voçorocas na zona urbana do município de São Luís - MA. In: **Geo UERJ**, v. 1, p. 1-5, 2005. Disponível em: <http://www.cibergeo.org/XSBGFA/> Acesso em: 15 ago. 2018.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. Granulometria por Fração a Laser dos Sedimentos Superficiais nas Áreas Degradadas por Voçorocamento na bacia do rio Bacanga. In: CASTRO, C. E.; MASULLO, Y. A. G.(org.). **Gestão Ambiental, uma diversificada ferramenta na consolidação de paradigma ecológico inovador**. São Luís: EDUEMA, 2016. p. 9-30.

BOARDMAN, J. Soil erosion at Albourn, West Sussex, Inglaterra. **Applied Geography**, 1983, 3, 317-329.

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.

BOLÓS, M.I.C. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. **Revista de Geografía**. Barcelona, v. 15, n. 1-2. 1981, p. 45-68.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.

BOWES, J.A. **Engineering properties of soils and their measurements**. Third edition. McGraw-Hill book Company, NY, 1986.

BRASIL. Lei Municipal n°. 1790, de 12 de maio de 1968. **Código de Posturas do Município de São Luís**. Disponível em: <http://www.gepfs.ufma.br/legurb/LEI%201790.pdf> Acesso em: 9 ago. 2018.

BRASIL. Lei Municipal n°. 3.253, de 29 de dezembro de 1992. **Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano e dá outras providências**. Disponível em: http://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/1188_3lei_n._3.253_de_29.12.1992_d.o.m._n.88._pags._06-27.pdf. Acesso em: 25 jul. 2017.

BRASIL. Lei Federal n°. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 9 ago. 2018.

BRITO, C. D. dos S. B. **O processo de uso e ocupação do solo urbano previsto no plano diretor de São Luís - MA**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2009. 104 f

BRITO, C. D. dos S. B.; WATANABE, I. S. Visões da cidade de São Luís - MA: entre leituras e conceitos urbanos vistos em um pouco mais de quatro séculos de existência da

capital maranhense. *In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS*, 18., 2016, São Luís. **Anais [...]**. São Luís: UFMA, 2016. ISBN 978-85-99907-07-8. Disponível em: http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468211041_ARQUIVO_CILICIABRITOEIURYWATANABE-XVIIIENG.pdf. Acesso em: 17 mai. 2018.

BRIZZI, R. R.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T. RELAÇÃO ENTRE A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NOS SOLOS E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM SISTEMAS DE MANEJOS DIFERENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO ROMÃO – NOVA FRIBURGO / RJ. **REVISTA CAMINHOS DE GEOGRAFIA**. ISSN 1678-6343. Uberlândia - MG v. 19, n. 67 Set/2018 p. 304–321. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/> Acesso em: 12 Mar. 2019.

BROWN, E. H. O Homem modela a terra. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 222, p. 3 – 18. Mai/Jun. 1971.

CARDOSO, C. I.; GONÇALVES M. F. P. **A poluição do rio Anil a Partir da ocupação desordenada das áreas adjacentes São Luís/MA**. *In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC*. 62., Natal: SBPC, 2010. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/resumos/resumos/2478.htm>. Acesso em: 10 Jul. 2017.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.I.] 2005. Disponível em: www.funape.org.br/geomorfologia Acesso em: 13 fev. 2018.

CARVALHO, N. de O. Erosão. *In: CARVALHO, N. de O (org.)*. **Hídrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994, p. 25-54.

CARVALHO, N. O. *et al.* **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

CARVALHO, S.M.; CAVICCHIOLI, M. A.B.; CUNHA, F.C.A. Paisagem: Evolução conceitual, métodos de abordagem e categoria de análise da Geografia. **Revista Formação (online)**. v. 2, n.9. 2002, p. 309-347.

COELHO, M.C.N. Impactos Ambientais em áreas Urbanas – Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. *In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B.(org.)*. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010, p.19-45.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. Degradação Ambiental. *In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (org.)*. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006, p. 337-379.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 4, n. 1, p 01-09. 2003.

DIRANE, A.C.M; MOLINARI, D.C.; DONALD, A.R.; ANDRADE, R.S. Capacidade de infiltração do solo em áreas de risco a voçorocamento – Nova Vitória (Manaus – AM). *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 10., 2009, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa: SBFGA, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (org.) **Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 376p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1039217/solos-frageis-caracterizacao-manejo-e-sustentabilidade>. Acesso em: 4 set. 2018.

FAO. Natural resources and the human environment for food and agriculture. **Environment Paper**. N° 1. Roma, 1980.

FREITAS, C.G.L.; IKEMATSU, P.; AZEVEDO, S.G. Plano Diretor: a importância da abordagem geoambiental na condução do destino das cidades. *In*: ROSIN, J.A.R.G e OLIVEIRA, C.M. (org.). **Estatuto da Cidade: avanços e desafios**. Tupã: ANAP, 2017. p. 73-104.

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006. 271p.

FERREIRA, A. J. de A. Uma interpretação geográfica para São Luís. **Revista Geosp**. São Paulo, n. 7, p. 51-58. 2000.

FUJIMOTO, N. V. M. Consideração sobre o Ambiente Urbano: Um Estudo com ênfase na Geomorfologia Urbana. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, nº. 16, p. 76-80, 2005.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2016, 199p.

GAMA, J.R.N.F.; OLIVEIRA, C.M.M. **Solos: manejo e interpretação**. 2. ed. São Luís: Editora UEMA, 2011. 191p.

GIRÃO, O. **Análise de processos erosivos em encostas na Zona Sudoeste da cidade do Recife – Pernambuco**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da UFRJ, Rio de Janeiro, 2007,306p.

GURGEL FILHO, F.J. **Diagnóstico de área degradada por voçoroca e proposta de reabilitação ambiental, no morro Santa Clara, Volta Redonda – RJ**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da UFRJ, Rio de Janeiro, 2007, 101p.

GREGORY, K.Y. **A natureza da Geografia Física**. Bertrand. São Paulo, 1992.

GOUDIE, A.; VILES, H. **The Earth Transformed - An Introduction to Humam Impacts on the Environment**. Orxford, Blackewll Publishers. 1997. 276p.

GUERRA, A.J.T. Avaliação da influencia das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas. *In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 4., 1991, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBGFA 1991, p. 260-266.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. *In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014a, p. 17-55.

GUERRA, A.J.T. Degradação dos solos – conceitos e temas. *In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M.C.O. (org.). Degradação dos solos no Brasil*. 1.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014b, p. 15-50.

GUERRA, A.J.T.; ALMEIDA, F.G. Propriedades dos solos e análise dos processos erosivos no município de Sorriso – MT. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE*, 4., Cuiabá, MT. **Anais [...]**. Cuiabá, MT, 1993.

GUERRA, A.J.T.; MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A.J.T. Encostas urbanas. *In: GUERRA, A.J.T. Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p.13-42.

GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. *In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B.(org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p.149-209.

HAMBLIN, A.P.; DAVIES, D.B. Influence of organic matter on the physical properties of some East Anglian soils of high contente. **Journal of Soil Science**, 1977, 28, 11-22.

HILLS, R. C. **The determination of the infiltration capacity of fields soils using the Cylinder Infiltrometer**. London (UK): British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, 3, 1970.

HORTON, R. E. Erosional development of estremas and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**. New York: Geological Society of America, v. 56, n. 3, p. 275-370, mar. 1945.

HORTON, R.E. The role of infiltration in the hydrological cycle. *Trans. Am. Geophys. Un.*, 1933, 14, 446-460.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de Geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425p.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANIFICAÇÃO DA CIDADE. **São Luís: uma leitura da cidade.** In: ESPÍRITO SANTO, J.M. (org.). São Luís: Instituto da Cidade, 2006.

JORGE, M.C.O. Geomorfologia Urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, A.J.T. (org.). **Geomorfologia Urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 117-145.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia:** relações solo – planta. São Paulo: Editora Agronômica Ceres LTDA, 1979.

KIYOTANI, I. O conceito de paisagem no tempo. **Geosul.** Florianópolis, v. 29, n. 57, p 27-42, jan./jun. 2014.

KLEIN, E. L.; LOPES, E.C. S.; ANJOS, G. C.; TEIXEIRA, S. G.; MOURA, E. M. Unidades Litoestratigráficas. In: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão.** Belém: CPRM , 2012. p. 41-88.

LADEIRA, F.S.B. Solos em áreas urbanas: Reflexões e possibilidades de análises. In: SILVA, C.A. (org.). **Geografia e Natureza:** experiências e abordagens de pesquisa. Dourados: Ed. UFGD, 2012. p. 201-226.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. **Soil erosion research methods.** Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LISBOA, G. S. MORAIS, M. S. de.; VIANA, J. D.; SILVA, T. P. da.; BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. Análise Morfológica das Áreas Degradadas por Voçorocamento na bacia do rio Bacanga - São Luís/MA. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 15-20, 2014.

LISBOA, G. S. **Análise da Fragilidade Ambiental e Reabilitação de Áreas Degradadas Por Erosão na Bacia do Rio Bacanga, Município de São Luís-MA.** Relatório de Iniciação Científica. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2014.

LISBOA, G. S. **Análise da Erodibilidade e Monitoramento das Áreas Degradadas por Erosão no Município de São Luís, Estado do Maranhão.** Relatório de Iniciação Científica. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2015.

LISBOA, G. S.; VIANA, J. D; BEZERRA, J. F. R. Análise da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade de um Neossolo Regolítico sob diferentes processos erosivos na bacia do rio Bacanga - São Luís/MA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 16, 2015, TERESINA. **Anais [...].** Geomorfologia e Solos: Epistemologia, Técnicas, Processos dinâmicos e mudanças na paisagem. Teresina, 2015. v. XVI. p. 2186-2191.

LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R.; MORAIS, M. S. de. Monitoramento de áreas degradadas por voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Bacanga, município de São Luís (MA). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 12., 2018, Crato, CE. **Anais eletrônicos [...].** Crato, CE, 2018. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/anais.html>. Acesso em: 20 Set. 2018.

LEÃO, C. A.; COSTA, T. C. R.; BEZERRA J.F.R. Erodibilidade dos solos e declividade da

bacia do rio Anil, Ilha do Maranhão. In: BARBOSA, L. N. *et. al.*. (org.). **Planejamento urbano de bacias hidrográficas**. 1. ed. Mossoró: EDUERN, 2018, v. , p. 52-60.

LEÃO, C. A. **Análise da erodibilidade dos solos na bacia do rio Anil, Ilha do Maranhão**. Relatório de Iniciação Científica. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2016.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOUREIRO, H.A.S. **Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ) – estudos experimentais e voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da UFRJ, Rio de Janeiro, 2013, 214p.

MACEDO, L.A.A. **Qualidade Ambiental dos rios da Ilha de São Luís**. São Luís: UFMA, 2003. 76 p.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Programas Especiais. **Estudo de ocupação espacial/uso e cobertura da terra**. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: Sema/MMA/PNMA, 1998a.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Programas Especiais. **Estudo de pedologia/cobertura vegetal**. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: Sema/MMA/PNMA, 1998b.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura. **Estudo de Impacto Ambiental – implantação e pavimentação da Via Expressa de ligação das avenidas Carlos Cunha (Jaracaty), Jerônimo de Albuquerque e Daniel de La Touche (Ipase)**. São Luís: SINFRA/MA, 2011. 230 f.

MATHIAS, D.T. **Contribuição metodológica para o diagnóstico da dinâmica erosiva linear e seu prognóstico evolutivo visando subsidiar projetos de recuperação**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2016, 178p.

MENDES, S.P. **Identificação e avaliação da paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual de Macaé de Cima (RJ)**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da UFRJ, Rio de Janeiro, 2010, 167p.

MENDONÇA, F. **Geografia Física**. Ciência Humana. São Paulo: Contexto, 1991.

MORAIS, M. S. de.; LISBOA, G. S.; VIANA, J. D.; SILVA, T. P. da.; BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na bacia do rio Bacanga, município de São Luís - MA. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 531-536, 2014.

MORAES, A. da S.; FRANÇA, T. A.; CORREA, A. C. G.; FARIAS FILHO, M. S. Principais Classes e Atributos dos Solos da Ilha do Maranhão. *In*: FARIAS FILHO, M. S.; CELERI, M. J. (org.). **Geografia da Ilha do Maranhão**. São Luís: EDUFMA, 2015. p. 16-27.

MOREIRA, T. S. **Gestão Metropolitana**: a região metropolitana da grande São Luís e os desafios das políticas urbanas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Maranhão. PPDSR. Geografia. São Luís, 2013, 137p.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford, 2005.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Chart**. M.D. USA, 2009.

NUNES, J. O. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G.; AMORIM, M. C. de C. T.; PERUSI, M. C. A influência dos métodos científicos na Geografia Física. **Terra Livre**, Presidente Prudente, v. 2, n. 27, p. 119-130, jul./dez. 2006.

OLIVEIRA, D. Técnicas de Pedologia. *In*: VENTURI, L. A. B. (org.). **Geografia**: Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

PASCHOAL, L.G.; SIMON, A.L.H.; CUNHA, C.M.L. Geomorfologia Antropogênica e sua inserção em pesquisas brasileiras. **Geographia Meridionalis**. v. 01, n. 01, p. 95-126. Jun/2015.

PELOGGIA, A. U. G. **Delineação e aprofundamento temático da geologia do tecnógeno do município de São Paulo**: as consequências geológicas da ação do homem sobre a natureza e as determinações geológicas da ação humana em suas particularidades referentes à precária ocupação urbana. 1996, 162f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

PEREIRA, E.D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã – São Luís (MA)**. Tese de Doutorado. Rio Claro: UNESP. 2006.

PEREZ FILHO, A.; SEABRA, F. B. Análise Sistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade de Terras do Cerrado Paulista. *In*: **Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

PINHEIRO, J. M. Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na Ilha do Maranhão no ano de 2016. **Revista InterEspaço**. Grajaú/MA v. 3, n. 8 p. 126-141 jan./abr. 2017.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E SUA RELAÇÃO COM A EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 27, n. 3, p. 329-343, 2008.

PORTELA, A. K. O; SOUZA, L.C; LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R. Mapeamento geomorfológico do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, Ilha do Maranhão. *In*: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. 1.ed.Campinas, SP: Instituto de Geociências- Unicamp, 2017, v. 1, p. 6567-6571.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. **Plano Diretor do Município de São Luís**: Lei 4669 de 11 de outubro de 2006. São Luís: Secretaria Municipal de Governo, 2006.

ROCHA, A.A. A bacia hidrográfica como unidade de gestão da água. In: SEMINÁRIO LUSO-BRASILEIRO AGRICULTURA FAMILIAR E DESERTIFICAÇÃO, 2., 2008. **Anais eletrônicos** [...]. Disponível em: <http://www.geociencias.ufpb.br/leppan/gepat/files/gepat022.pdf>. Acesso em: 10 Abr. 2018.

RODRIGUES, S.C. Degradação dos solos no Cerrado. In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. 1.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p. 51-85.

RODRIGUES, C. A. Teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, v.14, 2001, p. 69-77.

RODRIGUES, C. A. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: um exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, V. 17, p. 101-111, 2005.

RODRIGUES, C. A. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**. V. 20, p. 111-125, abr. 2010.

RODRIGUES, C. A. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. **Geusp – Espaço e Tempo (online)**, v. 19, n. 2, p. 325-348, ago. 2015. ISSN 2179-0892.

RODRIGUES, T. L. N; ARAÚJO, C. C; CAMOZZATO, E; RANGRAB, G.E. **Programa Levantamentos Geológico Básicos do Brasil**. São Luís. Folha SA.23-Z-A, Curupu. Folha SA.23-X-C, Estado do Maranhão. Brasília, CPMR, 1994.

RODRIGUEZ, J.M.M.; SILVA, E.V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Revista Mercator**, ano 01, nº 01, Ceará, 2002.

ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 6, n. 2, p. 7-18, outubro 2006. Disponível em: www.igc.usp.br/geologiausp. Acesso em: 17 mai. 2018.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP**, n.º 6, 17-29, 1992.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p. 229-265.

SANTANA, R. G. **Propriedades Físicas e Morfológicas dos Solos dos processos erosivos por voçorocamento na área urbana do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, município de São Luís – MA**. Relatório Técnico. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2018.

- SANTORO, J. Erosão Continental. *In*: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p. 53-70.
- SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de.; SANTOS, H. G. dos.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.
- SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUNBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., ver. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. *E-book: il. color. E-book*, no formato *ePub*, convertido do livro impresso. ISBN 978-85-7035-817-2. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- SANTOS FILHO, R.D. **Antropogeomorfologia da ocupação de áreas de risco em Petropolis (RJ) – Análise ambiental urbana**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da UFRJ, Rio de Janeiro, 2007, 253p.
- SANTOS FILHO, R.D. Antropogeomorfologia Urbana. *In*: GUERRA, A.J.T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 227-242.
- SATHLER, R. **Evolução de voçorocas na Ilha do Maranhão: Uma abordagem pedogeotécnica para recuperação de áreas degradadas**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. 2010.
- SAUER, C. O. The morphology of landscape. **Publications in Geography**, Berkeley, vol.2, n°2,1925, p. 19-54.
- SCHIER, R.A. Trajetórias do conceito de Paisagem na Geografia. **Revista RA'É GA**. n. 7, 2003, p. 79-85.
- STRAHLER, A. N. Dynamics basis of geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, New York, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952.
- SILVA, A.S. Solos urbanos. *In*: GUERRA, A.J.T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 43-69.
- SILVA, A.S. Análise morfológica dos solos e erosão. *In*: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 101-126.
- SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 249f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012a.
- SILVA, I.C. Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no município de Itapororoca/ PB. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, V.1, N.4, p.648 – 662, 2012b.

SILVA, P.S.M.; DIAS, L.J.B.; FARIAS FILHO, M.S. Geologia e Geomorfologia da microrregião da aglomeração urbana de São Luís. *In: FARIAS FILHO, M.S. e CELERI, M.J. (org.). Geografia da Ilha do Maranhão*. São Luís: EDUFMA, 2015. p. 7-15.

SOTCHAVA, V. B. Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. n. 16. São Paulo: IG, USP, 1977.

SOUSA, P.R. de; COSTA, T. C. R.; SILVA, T. P.; BEZERRA, J. F. R. Análise das propriedades físicas dos solos em áreas degradadas por voçorocamento na Ilha do Maranhão. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 16., 2015, Teresina, PI. Geomorfologia e Solos: Epistemologia, Técnicas, Processos dinâmicos e mudanças na paisagem, v. XVI. **Anais [...]**. Teresina, PI, 2015. p.2402-2408.

SOUSA, P. R. de. **Análise das propriedades físicas dos solos degradados por voçorocamento na Ilha do Maranhão**. Relatório Técnico. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2016.

SOUZA, L.B.; ZANELLA, M.E. **Percepção de riscos ambientais: Teoria e aplicações**. Fortaleza: Edições UFC, 2009. Coleção Estudos Geográficos. Disponível em: <http://www.ppggeografia.ufc.br/index.php/pt-br/colecao-de-estudos-geograficos/35-livros-em-pdf/201-pdf-livro-percepcao-de-riscos-ambientais>. Acesso em: 23 jun. 2017.

SOUZA, B. de B. G. **Caracterização de Indicadores Sócio-ambientais na bacia do rio Anil, São Luís – MA, como subsídio à análise econômico-ambiental do processo de desenvolvimento**. Tese (Doutorado). Universidade Federal Fluminense, Pós-graduação em Geociências. 2005.

SOUZA, L.C; PORTELA, A. K. O; LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R. Caracterização granulométrica dos solos em processos erosivos na bacia do rio Anil, Ilha do Maranhão. *In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento*. 1.ed.Campinas, SP: Instituto de Geociências- Unicamp, 2017, v. 1, p. 6572-6576.

SOUZA, L. C.; FILHO, C. A. C. C.; PORTELA, A. K. O.; LISBOA, G. S.; MORAIS, M. S.; BEZERRA, J. F. R. Inter- relações entre a granulometria e processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Anil, Ilha do Maranhão. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 12., 2018, Crato, CE. **Anais eletrônicos [...]**. Crato, CE, 2018. . Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/6/6-402-1995.html>. Acesso em: 20 Set. 2018.

STRAHLER, A.N. Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis. **Amer. Jour. Sci.** New Haven. 1950.

TEIXEIRA, E. C. **Os níveis taxonômicos das unidades de relevo do baixo curso da bacia hidrográfica do Anil, Ilha do Maranhão**. Relatório de Iniciação Científica. (Pesquisa em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2018.

TEIXEIRA, E. C.; SILVA, Q. D.; SOUSA, P. R. de; SANTANA, R. G. Riscos geomorfológicos urbanos: análise de processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do anil são luís - maranhão. *In: ENCONTRO DE PRÁTICAS DE ENSINO DA*

GEOGRAFIA, 1., COLÓQUIO SOBRE DESENVOLVIMENTO LOCAL E SUSTENTABILIDADE: novas abordagens, velhos dilemas, pelo olhar das geografias, 3., 2018, São Luís, MA. **Anais [...]**. São Luís: EDUEMA, 2018. p. 205-207.

TRENTIN, R. **Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu - oeste do Rio Grande do Sul - Brasil**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 220 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA). Centro de Ciências Agrárias. Núcleo Geoambiental (NUGEO). **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís, 2016. 165 p. Disponível em: <http://www.nugeo.uema.br/upnugeo/publicacoes/Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20e%20Climatologia%20-%20MA>. Acesso em: 13 Set 2018.

USDA. Soil Conservation Service. **Soil Survey Investigations Report** n°. 1. Washington, D. C., 1972. 63p.

VIANA, J. H. M. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. EMBRAPA comunicado técnico 154. Sete Lagoas – MG, 2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em: 28 de Agosto de 2017.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2008.

VEYRET, Y. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 2.ed. São Paulo: Contexto, 2013.

VIANA, J. D.; SILVA, T. P.; ABREU JÚNIOR, F. C.; MORAIS, M. S. de.; LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R. Monitoramento dos Processos Erosivos por Voçorocamento no Município de São José de Ribamar, Ilha do Maranhão (MA). **Revista Geonorte**, v. 5, p. 137-141, 2014.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e sua inserção na geografia física. **Revista Mercator**, n. 11, 2007, p.71-78.

VITTE, A. C.; MELLO, J. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 107-133, 2007.

VITORINO, J. C.; ANDRADE, M. R. M.; PELOGGIA, A. U. G.; SAAD, A. R.; OLIVEIRA, A. M. S. TERRENOS TECNOGÊNICOS DO JARDIM FORTALEZA, BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO ENTULHO, GUARULHOS (SP): MAPEAMENTO GEOLÓGICO, ESTRATIGRAFIA, GEOMORFOLOGIA E ARQUEOLOGIA DA PAISAGEM. **Revista UNG – Geociências**. ISSN 1981-741X. V. 15, N. 2, 2016. p. 33-60.

WHITE, G.F. (Ed.). **Natural Hazards (local, national, global)**. New York: Oxford University Press USA, 1974.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Proceedings Soil Science Society of America**, 33, 133-137, 1969.

ANEXOS

ANEXO A – Modelo de ficha para descrição morfológica dos solos no campo

IDENTIFICAÇÃO: Nº: <input type="text"/> PROLETO: <input type="text"/>		DESCRÇÃO GERAL		DATA: <input type="text"/>
CLASSIFICAÇÃO: <input type="text"/>		TIPO DE CARACTERIZAÇÃO: <input type="checkbox"/> PERFIL COMPLETO <input type="checkbox"/> AMOSTRA EXTRA		UNIDADE DE MAPEAMENTO: <input type="text"/>
LOCALIZAÇÃO: <input type="text"/>		MUNICÍPIO: <input type="text"/>	UF: <input type="text"/>	ALTITUDE (m): <input type="text"/>
SITUAÇÃO: <input type="text"/>		DECLIVIDADE: <input type="text"/>		USO ATUAL: <input type="text"/>
TIPO DE PAISAGEM: <input type="checkbox"/> PLANALTO/CHAPADA <input type="checkbox"/> COLINA/MORRO <input type="checkbox"/> TERÇO INFERIOR <input type="checkbox"/> TERÇO MÉDIO <input type="checkbox"/> TERÇO SUPERIOR <input type="checkbox"/> TIPO		COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: <input type="text"/>		CRONOLOGIA: <input type="text"/>
MATERIAL DE ORIGEM: <input type="checkbox"/> ALÓCTONE <input type="checkbox"/> PSEUDO-AUTOCTONE		LITOLOGIA: <input type="text"/>		UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA: <input type="text"/>
IDENTIFICAÇÃO: <input type="text"/>		PEDREGOSIDADE: <input type="checkbox"/> NÃO PEDREGOSA <input type="checkbox"/> LIGEIRAMENTE PEDREGOSA <input type="checkbox"/> PEDREGOSA <input type="checkbox"/> MUITO PEDREGOSA <input type="checkbox"/> EXTREMAMENTE PEDREGOSA		DESCRITO E COLETADO POR: <input type="text"/>
CONSISTÊNCIA: <input type="checkbox"/> BRANCO <input type="checkbox"/> SEMBRANCO <input type="checkbox"/> CONSOLIDADO		ROCHOSIDADE: <input type="checkbox"/> NÃO ROCHOSA <input type="checkbox"/> LIGEIRAMENTE ROCHOSA <input type="checkbox"/> ROCHOSA <input type="checkbox"/> MUITO ROCHOSA <input type="checkbox"/> EXTREMAMENTE ROCHOSA		RELEVO LOCAL: <input type="checkbox"/> PLANO <input type="checkbox"/> SUAVE ONDULADO <input type="checkbox"/> ONDULADO <input type="checkbox"/> FORTemente ONDULADO <input type="checkbox"/> MONTANHOSO <input type="checkbox"/> ESCARPADO
EROSÃO: <input type="checkbox"/> NÃO APARENTE <input type="checkbox"/> FORTe <input type="checkbox"/> MUITO FORTe <input type="checkbox"/> MODERADA		DRENAGEM: <input type="checkbox"/> MUITO MAL DRENADO <input type="checkbox"/> MAL DRENADO <input type="checkbox"/> IMPERFECTAMENTE DRENADO <input type="checkbox"/> MODERADAMENTE DRENADO		RELEVO REGIONAL: <input type="checkbox"/> PLANO <input type="checkbox"/> SUAVE ONDULADO <input type="checkbox"/> ONDULADO <input type="checkbox"/> FORTemente ONDULADO <input type="checkbox"/> MONTANHOSO <input type="checkbox"/> ESCARPADO
FORMA: <input type="checkbox"/> LAMINAR <input type="checkbox"/> VOÇOROCAS		VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: TIPO: <input type="checkbox"/> CAATINGA <input type="checkbox"/> CERRADO <input type="checkbox"/> CAMPANARANA <input type="checkbox"/> CAMPO <input type="checkbox"/> CERRADO		COMPLEMENTO: <input type="checkbox"/> SUBSERFOLIA <input type="checkbox"/> SUBCADUCIFÓLIA <input type="checkbox"/> CADUCIFÓLIA <input type="checkbox"/> TROPICAL <input type="checkbox"/> SUBTROPICAL <input type="checkbox"/> PERENIFÓLIA <input type="checkbox"/> HIPOFÓLIA
COR: UNIDADE: <input type="text"/> MATRIZ/ COR DE FUNDO: <input type="text"/>		MOBILIZADO OU VARIÉGOLO: TAMANHO: <input type="text"/> QUANTIDADE: <input type="text"/>		TEXTURA: <input type="checkbox"/> AREIA <input type="checkbox"/> ARGILA <input type="checkbox"/> ARGILA FRANCA <input type="checkbox"/> ARGILARENOSA <input type="checkbox"/> ARGILOSILTOSA <input type="checkbox"/> FRANCO-ARENOSA <input type="checkbox"/> FRANCO <input type="checkbox"/> SILTE <input type="checkbox"/> FRANCO-ARGILARENOSA <input type="checkbox"/> MUITO ARGILOSA <input type="checkbox"/> ARGILICA <input type="checkbox"/> FRANCO-ARGILOSA <input type="checkbox"/> ARGILICA FIBROSA <input type="checkbox"/> FRANCO-SILTOSA <input type="checkbox"/> PODOSSOLADA
SÍMBOLO: PROFUNDIDADE (cm): <input type="text"/> ESPESSURA (cm): <input type="text"/>		COR: UNIDADE: <input type="text"/> MATRIZ/ COR DE FUNDO: <input type="text"/>		CONTRASTE: <input type="checkbox"/> POUCA <input type="checkbox"/> MÉDIA <input type="checkbox"/> GRANDE
GASCALHO: <input type="checkbox"/> POUCO <input type="checkbox"/> CASCA/HEITA <input type="checkbox"/> CASCA/HEITA <input type="checkbox"/> MUITO CASCA/HEITA		ESTRUTURA: GRAU: <input type="text"/> TIPO: <input type="text"/>		QUANTIDADE: <input type="text"/> QUANTIDADE: <input type="text"/>
CONSISTÊNCIA: <input type="checkbox"/> ÚMIDA <input type="checkbox"/> SOLTA <input type="checkbox"/> FRIME <input type="checkbox"/> MUITO FRIVEL <input type="checkbox"/> FRIVEL <input type="checkbox"/> MUITO FIRME <input type="checkbox"/> EXTR. FIRME		MOHADA: PLASTICIDADE: <input type="checkbox"/> NÃO PLÁSTICA <input type="checkbox"/> LIC. PLÁSTICA <input type="checkbox"/> PLÁSTICA <input type="checkbox"/> MUITO PLÁSTICA		COESÃO: <input type="checkbox"/> MODERADAMENTE COESO <input type="checkbox"/> FORTEMENTE COESO
		RAÍZES: TAMANHO: <input type="text"/> QUANTIDADE: <input type="text"/>		POSOB: QUANTIDADE: <input type="text"/>
		TAMANHO: <input type="text"/> QUANTIDADE: <input type="text"/>		TRANSIÇÃO: TOPOGRAFIA: <input type="checkbox"/> CONTRASTE <input type="checkbox"/> PLANA <input type="checkbox"/> ABRUPTA <input type="checkbox"/> ONDULADA <input type="checkbox"/> CLARA <input type="checkbox"/> IRREGULAR <input type="checkbox"/> GRADUAL <input type="checkbox"/> QUERRADA <input type="checkbox"/> DIFUSA

Fonte: IBGE, 2015.

ANEXO B – Ficha do Teste de Infiltração dos solos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
 CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
 DEPARTAMENTO DE HISTÓRIA E GEOGRAFIA
 CURSO DE GEOGRAFIA
 DATA _____

Teste de infiltração				
Local:		Horário:		
Tempo (min)	Altura de infiltração (cm)	Volume infiltrado (ml)	Tempo	Infiltração (ml)
30s				
60s				
1,5				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

ANEXO C – Convenção de cores das classes de 1º e 2º níveis categóricos do SiBCS utilizadas no mapa/cartas de solos da área de estudo



Gleissolos – G
R=182 G=216 B=238
C=27 M=5 Y=2 K=0
H=204 S=24 V=93



Gleissolos Tiomórficos – GJ
R=108 G=163 B=205
C=58 M=25 Y=6 K=0
H=206 S=47 V=80

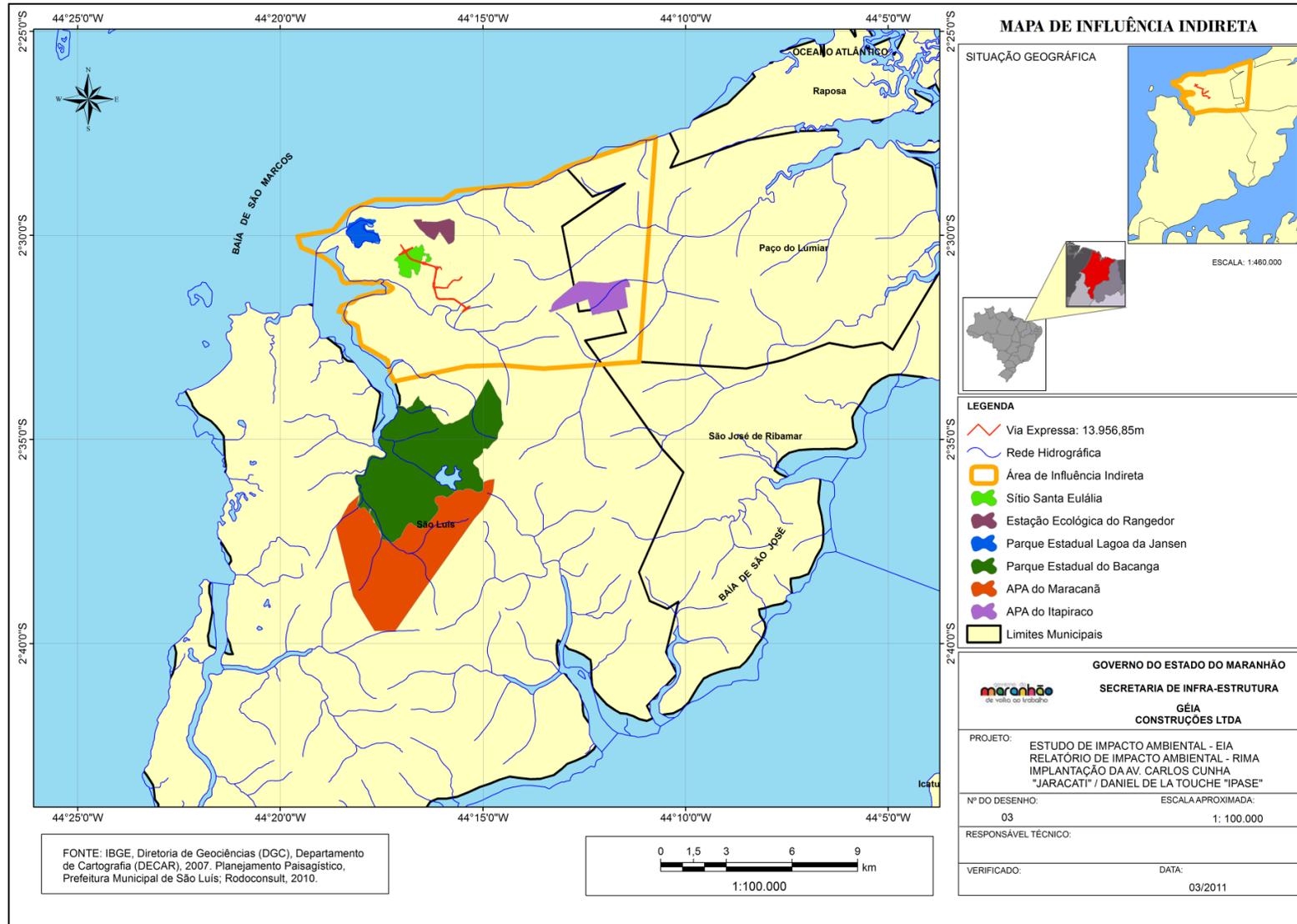


Neossolos Quartzarênicoss – RQ
R=255 G=254 B=115
C=4 M=0 Y=66 K=0
H=60 S=55 V=100

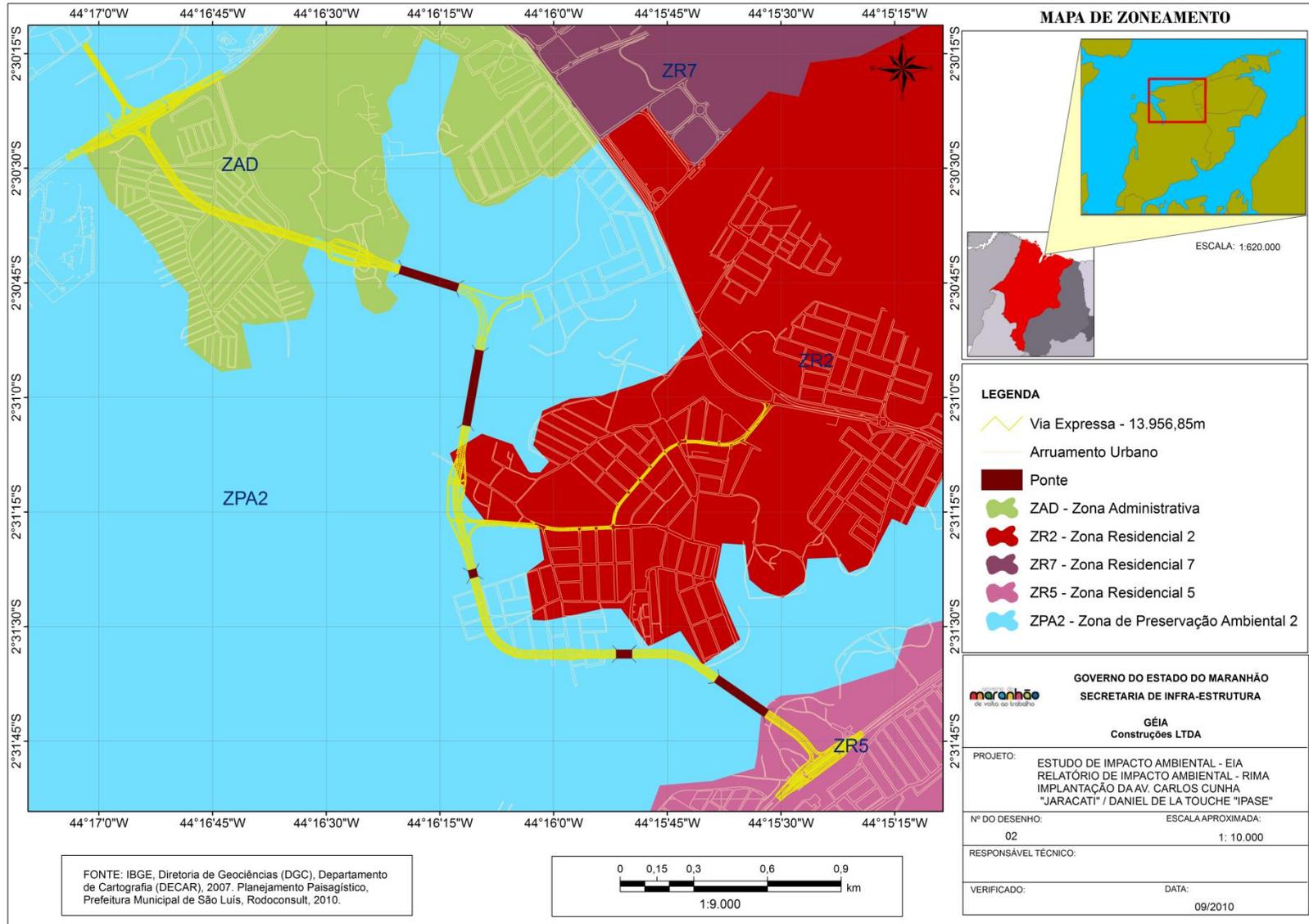


Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA
R=255 G=167 B=127
C=0 M=42 Y=49 K=0
H=19 S=50 V=100

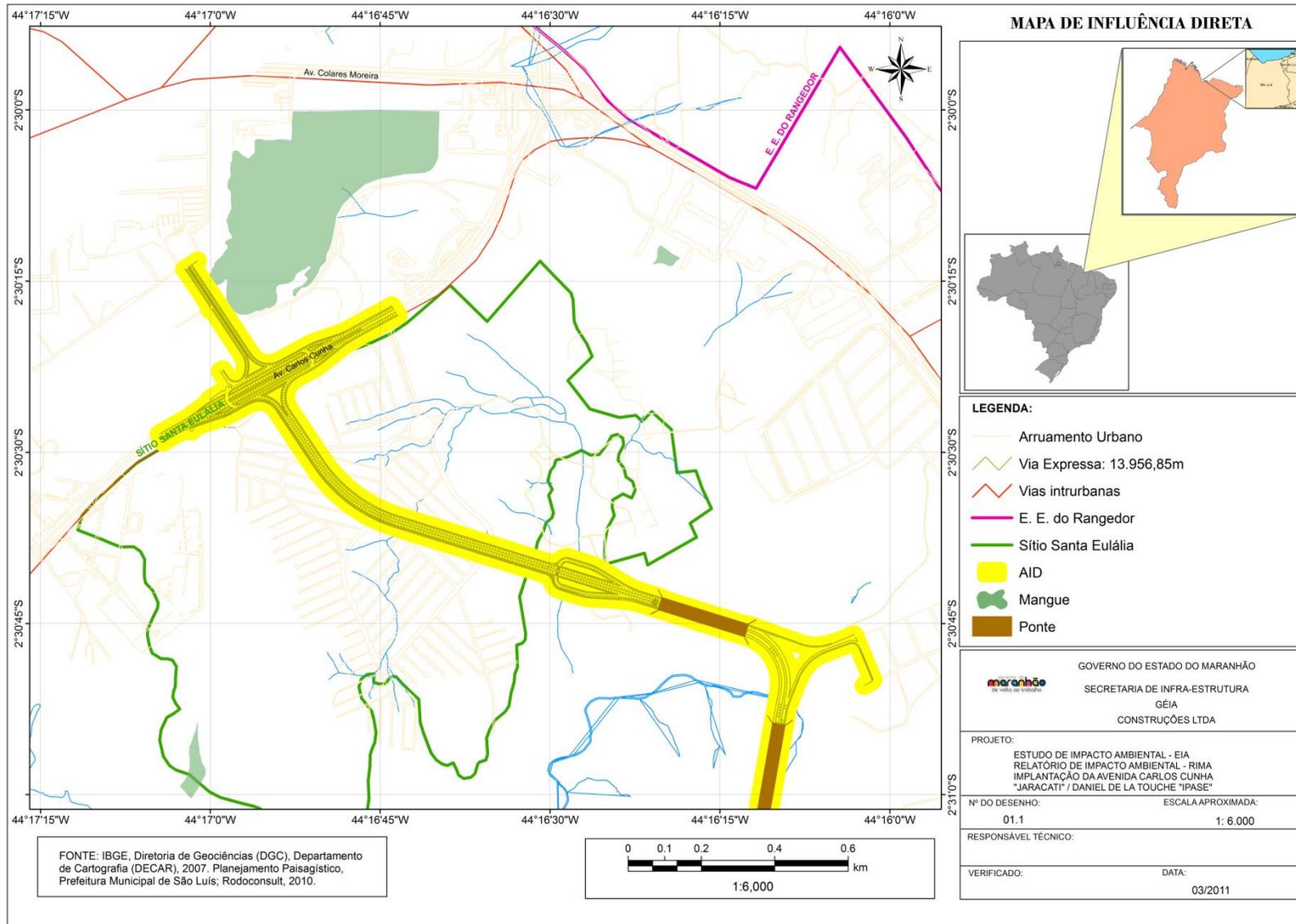
ANEXO D – Áreas e zonas de proteção ambiental – EIA/RIMA – Via Expressa



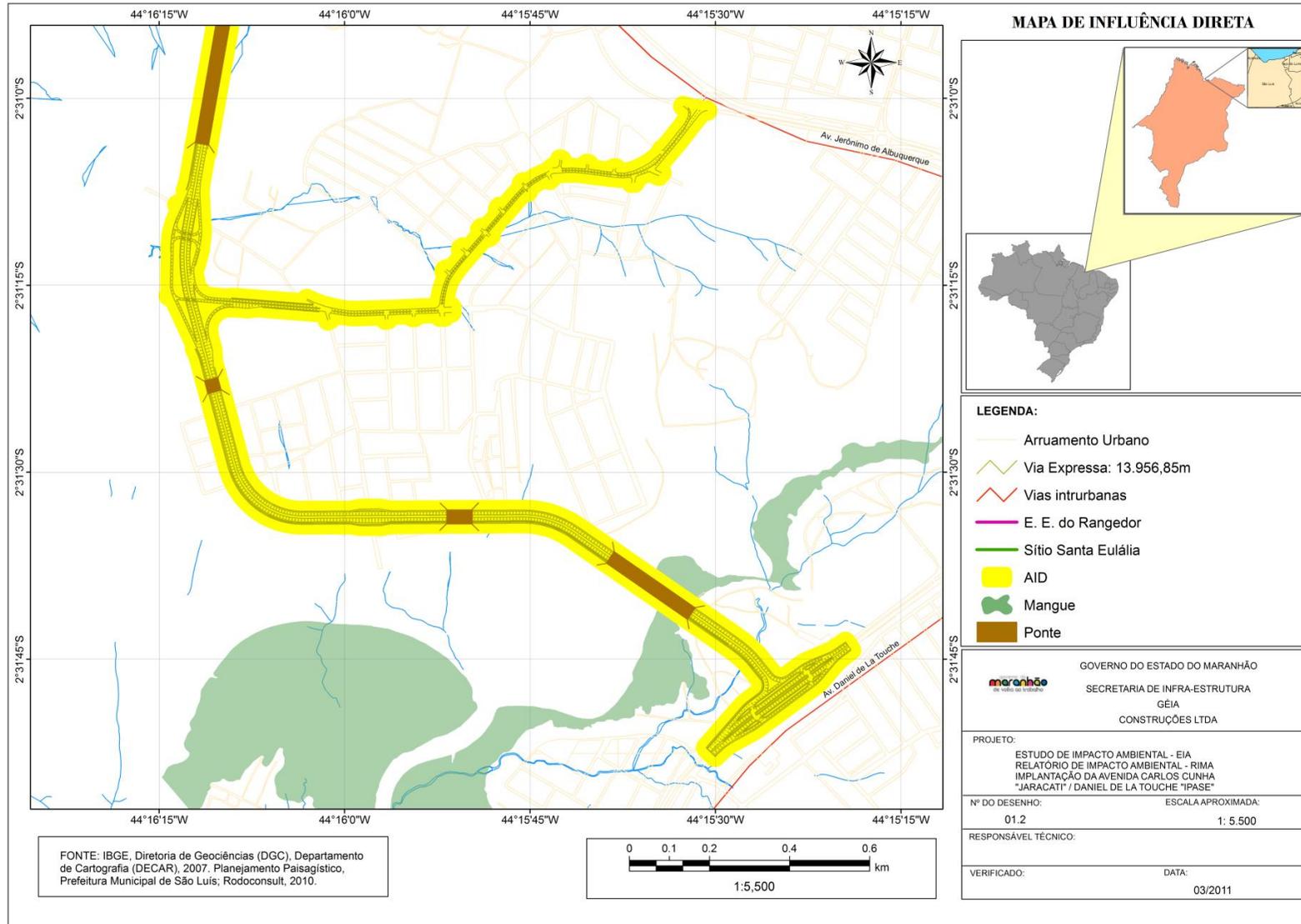
ANEXO E – Zoneamento – EIA/RIMA – Via Expressa



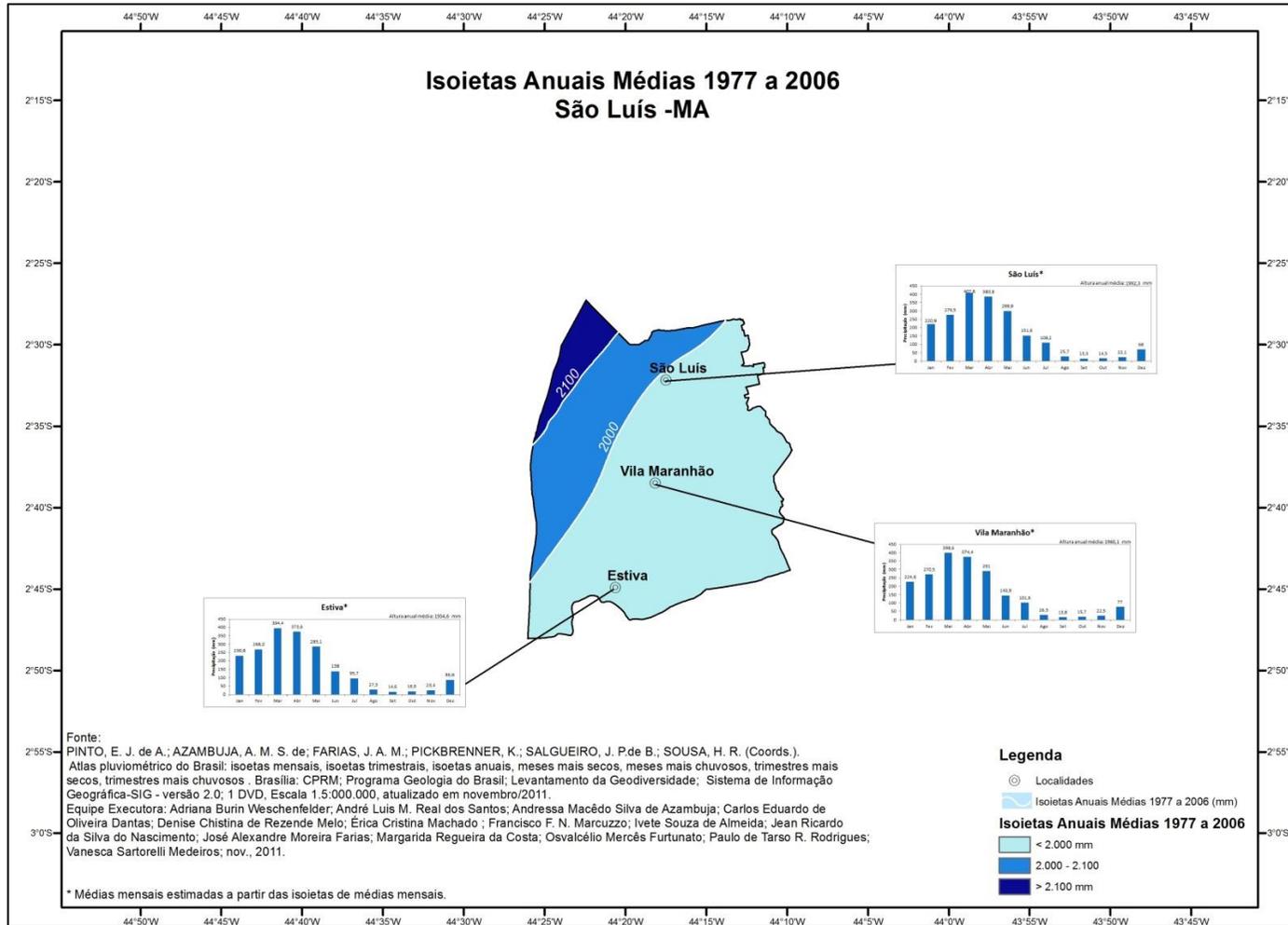
ANEXO F – Influencia direta 1 – EIA/RIMA – Via Expressa



ANEXO G – Influencia direta 2 – EIA/RIMA – Via Expressa



ANEXO H – Índices Pluviométricos – São Luís/MA



Fonte: CPRM, 2011.