



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**



**Pós-Graduação em
Geografia, Natureza
e Dinâmica do Espaço**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA
DO ESPAÇO (PPGeo)**

DELONY DE QUEIROZ RIBEIRO

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
DOS CACHORROS, SÃO LUÍS – MA**

SÃO LUÍS – MA

2022

DELONY DE QUEIROZ RIBEIRO

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
DOS CACHORROS, SÃO LUÍS – MA**

DINÂMICA DA NATUREZA E CONSERVAÇÃO

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – Campus Paulo VI, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Melina Fushimi.

SÃO LUÍS – MA

2022

Ribeiro, Delony de Queiroz.

Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio dos Cachorros, São Luís - MA / Delony de Queiroz Ribeiro. – São Luís, 2022.

216 f

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Milena Fushimi.

1.Ambiente. 2.Erosão laminar. 3.Fragilidade ambiental. 4.Perdas de solos. 5.Rio dos Cachorros. I.Título.

CDU: 556.51:504(812.1)

DELONY DE QUEIROZ RIBEIRO

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
DOS CACHORROS, SÃO LUÍS – MA**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – Campus Paulo VI, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Geografia.

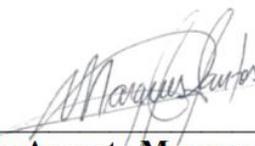
Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

Aprovado em: 31/03/2022

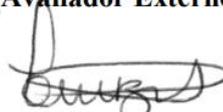
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Melina Fushimi
Universidade Estadual do Maranhão
(Orientadora)



Prof. Dr. Caio Augusto Marques dos Santos
Universidade Federal de Rondonópolis
(Avaliador Externo)



Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos
Universidade Estadual do Maranhão
(Avaliador Interno)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de estar realizando um sonho.

À minha mãe, pelo incentivo à leitura e ao estudo.

Ao melhor namorado do mundo, Gabriel Irvine Ferreira Alves dos Santos. Você é meu *Lebenslangerschicksalsschatz* (*How I Met Your Mother*, 08x01).

Ao Walefe Lopes da Cruz, por todas as risadas e lágrimas compartilhadas, você é um amigo para toda a vida.

Obs: Tenho a sorte de compartilhar a vida de geógrafo com vocês dois.

À Kionara de Maria Botão Ribeiro e Silva (*In memoriam*), pelo afeto e apoio nos estudos.

À Prof^ª. Dr^ª. Melina Fushimi, que é uma pessoa tão atenciosa e serena. Obrigada pela orientação, ajuda e encorajamento.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo/UEMA), secretariado e alunado. Assim como, ao Grupo de Pesquisas em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP/UEMA).

À banca examinadora do presente trabalho (Prof. Dr. Caio Augusto Marques dos Santos e Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio à pesquisa.

À Débora Barbosa da Silva e à Amanda Valéria Damasceno dos Santos, por sempre estarem dispostas a tirarem minhas dúvidas de geoprocessamento, bem como por sempre acreditarem no meu potencial.

À Joseane Nascimento Carvalho e à Ludmilla Ferreira Duailibe, pela amizade e suporte desde o fundamental menor. Vocês são minhas melhores amigas.

Ao Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra, à Gilberlene Serra Lisboa, à Marly Silva de Moraes, ao Paulo Zidane Ferreira da Silva pela ajuda em trabalho de campo, e fora dele. Tal como ao Bruno Santos Ferreira, ao Lucas Silva Carvalho, ao Ricardo Gonçalves Santana, que estão a todo momento dispostos a me ajudar, e ao Prof. Dr. Cristiano Nunes Alves pelo incentivo.

Além disso, à Adrielle de Jesus Ferreira Chagas, ao Fabio Ferreira Correia, ao Igor de Luccas Santos, ao Darlysson Santos Silva, ao Gabriel Macedo Monteiro, à Anny Karolyny Oliveira Portela e à Raquel Pereira Santana pelo companheirismo.

Aos amigos, aos colegas e às oportunidades que a Geografia me deu, bem como aos professores que marcaram minha vida.

Em suma, a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para a realização da presente dissertação.

“De Carlos Walter ouvi, bastante tempo atrás, uma deliciosa tirada, a qual nos deixa entrever a sua aguda compreensão do problema terminológico-conceitual a respeito do «ambiente»: «eu não quero o ‘meio ambiente’, quero o ambiente inteiro... »”

Marcelo Lopes de Souza (2019, p. 30)

RESUMO

A relação conflituosa da sociedade com a natureza, mediante as dinâmicas e tensões territoriais-ambientais por espaços, recursos naturais, conflitos políticos, e a busca desenfreada pela industrialização, promovem impactos no ambiente, principalmente nas áreas costeiras que são particularmente mais sensíveis e frágeis a ocupação dos agentes sociais. Dentre as bacias hidrográficas de São Luís (Maranhão), a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros foi uma das áreas da cidade a receber grandes projetos urbanos e industriais. Por sua vez, a urbanização acelerada trouxe diversas consequências ao ambiente. Essa bacia é estuarina, de padrão dendrítico, possui área de 64,37 km² e abrange diversas nascentes. Está situada na porção sudoeste da Ilha do Maranhão e ao sul de São Luís, fazendo parte da Amazônia Oriental. A bacia é sujeita aos processos erosivos, em virtude de suas características ambientais - um fenômeno natural, mas que é intensificado pelos usos da terra. Nesse sentido, o objetivo dessa dissertação é analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, por meio da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). Para isso, contou-se com os procedimentos metodológicos de levantamento e análise de material bibliográfico, elaboração de material cartográfico das características geoambientais, trabalhos de campo, assim como análise e espacialização da fragilidade ambiental e de perdas de solos da área de estudo. O conceito norteador dessa pesquisa é o de ambiente, tratando-se de um trabalho marcado pelas relações sociais, tal qual pela união do estudo da natureza e da sociedade. Além disso, estudou-se um ambiente costeiro, por isso houve a adaptação das técnicas que foram usadas para realizar as análises de fragilidade ambiental e de perdas de solo da bacia. Foi constatado que a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros possui diversas frações sociais, sobretudo a urbana (uso residencial e serviços), a rural (comunidades e assentamentos) e a industrial, além das áreas de proteção ambiental, e cada um desses grupos utiliza a terra de maneira diferenciada, destacando-se os agentes rurais, que utilizam da bacia como forma de sustento e ainda tentam proteger os corpos d'água remanescentes, apesar da pressão dos grandes empreendimentos. Também foi constatada a diminuição da área rural, aumento da área urbana e multiplicação de classes industriais, principalmente relacionadas ao sistema portuário e à mineração. Assim, a remoção da cobertura vegetal vem transformando a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, dado que a cobertura vegetal é a principal proteção contra a erosão. Em trabalhos de campo foi possível notar que a degradação está presente principalmente nos locais de mineração, e está relacionada sobretudo com a intensificação dos processos erosivos. No mais, a fragilidade ambiental da área de estudo variou de: Muito Fraca 1 a Muito Forte 5. A maior parte é

constituída pela classe Média 3 (36%), seguida por Forte 4 (26%), por Muito Forte 5 (18%), por Muito Fraca 1 (12%) e por Fraca 2 (8%). Além disso, os valores de perdas de solos variaram de 0 a $> 200 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e foram divididas em 8 classes, conforme a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 1967), apud Guimarães *et. al.* (2011): Nenhuma ou ligeira 1 ($0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (65%), Nenhuma ou ligeira 2 ($1 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%), Nenhuma ou ligeira 3 ($3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%), Nenhuma ou ligeira 4 ($5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%), Moderada 5 ($10 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (4%), Moderada 6 ($20 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (16%), Alta 7 ($50 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%) e Muito Alta 8 ($> 200 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). À vista disso, a tendência é que surjam novas áreas de fragilidade ambiental e de perdas de solos. Dessa forma, análises como essa contribuem como importantes materiais a serem empregados para subsidiar as discussões sobre uso e cobertura, zoneamento, planejamento e gestão territorial-ambiental, degradação dos cursos d'água, dentre outros elementos, posto que a erosão é considerada um dos maiores riscos ambientais e deve ser estudada pela sociedade.

Palavras-chave: Ambiente. Erosão Laminar. Fragilidade Ambiental. Perdas de Solos. Rio dos Cachorros.

ABSTRACT

The conflicting relationship between society and nature, through territorial-environmental dynamics and tensions over spaces, natural resources, political conflicts, and the unbridled search for industrialization, promote impacts on the environment, especially in coastal areas that are particularly sensitive and fragile to occupation of social agents. Among the watersheds of São Luís (Maranhão), the watershed of Cachorros river was one of the areas of the city to receive large urban and industrial projects. In turn, accelerated urbanization has brought several consequences to the environment. This basin is estuarine, with a dendritic pattern, has an area of 64.37 km² and includes several springs. It is in the southwest portion of Maranhão Island and south of São Luís, forming part of the Eastern Amazon. The basin is subject to erosive processes, due to its environmental characteristics - a natural phenomenon, which is intensified, however, by land uses. In this way, the objective of this dissertation is to analyze the environmental fragility of Cachorros river's watershed, through the Universal Soil Loss Equation (USLE). For this, the research relied on the methodological procedures of survey and analysis of bibliographic material, elaboration of cartographic material of geoenvironmental characteristics, field work, as well as analysis and spatialization of environmental fragility and soil losses in the study area. The guiding concept of this research is the environment, a work marked by social relationships, as well as by the union of the study of nature and society. In addition, a coastal environment was studied, so there was an adaptation of the techniques that were used to conduct the analyzes of environmental fragility and soil losses in the basin. It was found that the watershed of Cachorros river has several social fractions, especially urban (residential use and services), rural (communities and settlements) and industrial, in addition to environmental protection areas, and each of these groups uses the land in a different way, with emphasis on rural agents, who use the basin as a form of livelihood and still try to protect the remaining bodies of water, despite the pressure of large enterprises. There was also a decrease in the rural area, an increase in the urban area and the multiplication of industrial classes, related to the port system and mining. Thus, the removal of vegetation cover has been transforming the watershed of Cachorros river, as the vegetation cover is the main protection against erosion. In field work, it was possible to notice that degradation is present in mining sites and is related to the intensification of erosive processes. Moreover, the environmental fragility of the study area ranged from: Very Weak 1 to Very Strong 5. Most are made up of the Middle class 3 (36%), followed by Strong 4 (26%), by Very Strong 5 (18%), by Very Weak 1 (12%) and by Weak 2 (8%). Furthermore, soil loss values ranged from 0 to > 200 t.ha⁻¹ year⁻¹, and were divided into

8 classes, according to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 1967), apud Guimarães et al. . al. (2011): None or slight 1 (0 † 1 t.ha-1 year-1), (65%), None or slight 2 (1 † 3 t.ha-1 year-1), (1%), None or slight 3 (3 † 5 t.ha-1 year-1), (1%), None or slight 4 (5 † 10 t.ha-1 year-1), (1%), Moderate 5 (10 † 20 t.ha-1 year-1), (4%), Moderate 6 (20 † 50 t.ha-1 year-1), (16%), High 7 (50 † 200 t.ha-1 year -1), (1%) and Very High 8 (> 200 t.ha-1 yr-1). In view of this, the tendency is for new areas of environmental fragility and soil loss to emerge. Thus, analyzes such as this contribute as important materials to be used to support discussions on use and coverage, zoning, territorial-environmental planning and management, degradation of water courses, among other elements, since erosion is considered one of the greater environmental risks and should be studied by society.

Keywords: Environment; Laminar Erosion; Environmental Fragility; Soil Losses; Cachorros River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da Geografia como uma “ciência ponte” entre as ciências da natureza e da sociedade.....	32
Figura 2 – Representação da Geografia Ambiental como uma interseção entre a Geografia Física e a Humana.....	33
Figura 3 – Representações do tempo.....	36
Figura 4 – Representação do espaço geográfico	39
Figura 5 – Abrangência do conceito de ambiente	41
Figura 6 – Componentes principais de uma bacia hidrográfica	43
Figura 7 – Esquema do processo erosivo	48
Figura 8 – Representação do universo do geoprocessamento	61
Figura 9 – Cartas planimétricas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (1980), São Luís – MA.....	65
Figura 10 - – Rampa de cor, Hipsometria	70
Figura 11 – Opções da ferramenta <i>Slope</i>	71
Figura 12 – Rampa de cor, Declividade	71
Figura 13 – Rotas e Pontos - GPS <i>TrackMaker</i> [®] <i>ArcGIS</i> [®] , trabalho de campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021-2022), São Luís – MA.....	74
Figura 14 – Base de dados da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA, no <i>Google Earth</i> [®] <i>mobile</i>	75
Figura 15 – <i>Solocator</i> [®] em uso na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	76
Figura 16 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	80
Figura 17 – Componentes da Equação Universal de Perdas de Solo	81
Figura 18 – Esquema dos dados utilizados para a estimativa da Equação Universal de Perdas de Solo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	82
Figura 19 – Fórmula para a elaboração da média mensal do índice de erosividade (fator EI), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	83
Figura 20 – Fórmula para a elaboração do comprimento de rampa (fator L), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	87
Figura 21 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da variável Beta da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	88

Figura 22 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da variável m da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	89
Figura 23 – Ferramenta de direção de fluxo.....	90
Figura 24 – Ferramenta de acumulação de fluxo	91
Figura 25 – Fórmula e ferramenta para a elaboração do comprimento de rampa (fator L), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	92
Figura 26 – Fórmula para a elaboração da declividade das vertentes (fator S), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	93
Figura 27 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da declividade das vertentes (fator S), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	93
Figura 28 – Fórmula e ferramenta para a elaboração do fator topográfico (LS), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	94
Figura 29 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da EUPS da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	96
Figura 30 – Panfleto explicado e disponibilizado para o assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA	153
Figura 31 – Comparação entre a Imagem <i>Maxar Technologies (Google Earth Pro)</i> , de 2020 e de 2021, porção sudoeste da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	177
Figura 32 – Esquema das variáveis e seus produtos cartográficos usados para a estimativa da Equação Universal de Perdas de Solo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	180
Figura 33 – Croqui da erosividade estimada, fator R, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	182
Figura 34 – Croqui da erodibilidade estimada, fator K, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	184
Figura 35 – Croqui das variáveis do fator topográfico, (LS), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	187
Figura 36 – Croqui do uso e cobertura da terra, Fator CP, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	189
Figura 37 – Croqui das perdas de solos estimada, fator A, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	191

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Trabalho de campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2021), São Luís – MA	73
Foto 2 – Parte do equipamento utilizados em campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2021- 2022), São Luís – MA.....	74
Foto 3 – Pescadores na planície de maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	117
Foto 4 – Diversas embarcações na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	118
Foto 5 – Drega retirando água e areia para a construção civil, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA	118
Foto 6 – Grupo Itapecuru, (2017), São Luís – MA	122
Foto 7 – Grupo Barreiras recobrando o Grupo Itapecuru, (2018), São Luís – MA	123
Foto 8 – Grupo Barreiras, (2016), São Luís – MA.....	124
Foto 9 – Depósitos de Mangues na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2019), São Luís – MA.....	126
Foto 10 – <i>Rhizophora mangle</i> na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2019), São Luís – MA.....	127
Foto 11 – Planície de Maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2019), São Luís – MA	131
Foto 12 – Empresa ocupando a planície fluvial da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2019), São Luís – MA	132
Foto 13 – Assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA.....	149
Foto 14 – Palestra ambiental com o assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA	152
Foto 15 – Corpo d’água localizado no assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA	154
Foto 16 – Esgoto estourado, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA	155
Foto 17 – Descarte de resíduos sólidos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2021), São Luís – MA.....	156

Foto 18 – Descarte de resíduos sólidos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2022), São Luís – MA.....	156
Foto 19 – Moradias observadas próximo a ravina na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2020), São Luís – MA.....	157
Foto 20 – Rejeitos em processo erosivo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	157
Foto 21 – Planície fluvial de um afluente “protegido” pela vegetação, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	158
Foto 22 – Vegetação de Manguezal na planície de maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	158
Foto 23 – Ravina na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	167
Foto 24 – Erosão linear e laminar Ravina na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2019), São Luís – MA.....	167
Foto 25 – Sulcos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2020), São Luís – MA.....	168
Foto 26 – Alcovas de regressão na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	169
Foto 27 – Filetes subverticais na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	169
Foto 28 – Pedestais e indícios de erosão laminar na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	170
Foto 29 – Cupinzeiro na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA..	171
Foto 30 – Área de extração mineral na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	172
Foto 31 – Cobertura Urbana (A) e Solo Exposto (B), bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	176
Foto 32 – Área de fragilidade ambiental Muito Forte, com grande declive, assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA.....	178
Foto 33 – Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênico, assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA.....	185
Foto 34 – Erosão na localidade da UEB Maria Thereza Cabral, Assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2022), São Luís São Luís - MA.....	195

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição do zoneamento vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	103
Gráfico 2 – Distribuição da proposta de zoneamento (2015), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	107
Gráfico 3 – Distribuição da proposta de macrozoneamento urbano (2019), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	110
Gráfico 4 – Distribuição do macrozoneamento ambiental vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	113
Gráfico 5 – Distribuição do limite urbano e rural vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	114
Gráfico 6 – Distribuição da proposta de limite urbano e rural (2019) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	115
Gráfico 7 – Distribuição das classes de litoestratigráficas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	121
Gráfico 8 – Distribuição das classes de relevo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	130
Gráfico 9 – Distribuição das classes das formas de curvatura de superfície da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	134
Gráfico 10 – Distribuição das classes hipsométricas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	136
Gráfico 11 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	138
Gráfico 12 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	140
Gráfico 13 – Precipitação Total, Série de 2000 a 2020, São Luís – MA	144
Gráfico 14 – Precipitação Média Mensal, Série de 2000 a 2020, São Luís – MA.....	145
Gráfico 15 – Precipitação Média Mensal, Série de 2000 a 2020, São Luís – MA.....	145
Gráfico 16 – Distribuição do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2020), São Luís – MA	148
Gráfico 17 – Distribuição das fases dos processos minerários da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA	161
Gráfico 18 – Distribuição dos minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros,	

(2021), São Luís – MA.....	164
Gráfico 19 – Utilização dos minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	166
Gráfico 20 – Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	174
Gráfico 21 – Resultados obtidos pela EUPS, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís - MA	192

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	27
Mapa 2 – Zoneamento vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	102
Mapa 3 – Zoneamento proposta (2015), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	106
Mapa 4 – Macrozoneamento urbano proposta (2019), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	109
Mapa 5 – Macrozoneamento ambiental vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	112
Mapa 6 – Comparação do Limite urbano e rural da área da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2006 e 2019), São Luís – MA.....	116
Mapa 7 – Unidades litoestratigráficas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	120
Mapa 8 – Unidades de relevo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA .	129
Mapa 9 – Curvaturas da superfície da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	133
Mapa 10 – Hipsometria da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	135
Mapa 11 – Declividade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	137
Mapa 12 – Esboço de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	139
Mapa 13 – Uso e Cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2020), São Luís – MA.....	147
Mapa 14 – Assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	150
Mapa 15 – Processos minerários da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	160
Mapa 16 – Minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	163
Mapa 17 – Minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA.....	165
Mapa 18 – Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	175
Mapa 19 – Espacialização da EUPS, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís - MA	193

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo	55
Quadro 2 – Pesos e graus de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	77
Quadro 3 – Erodibilidade estimada (K), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	86
Quadro 4 – Fator uso e cobertura da terra/práticas conservacionistas (fator CP), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.....	95
Quadro 5 – Dados utilizados e gerados pelo fator erosividade (R), estimada, (2000 a 2020), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	181

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação hierárquica da fragilidade relativo as classes de declividade	56
Tabela 2 – Classificação da fragilidade dos tipos de solos.....	57
Tabela 3 – Grau de proteção de superfície por tipos de coberturas.....	58
Tabela 4 – Fragilidade quanto ao nível de urbanização	59
Tabela 5 – Série temporal dos dados climatológicos do período de 2000 a 2020, (mm), São Luís - MA	84
Tabela 6 – Classes das perdas de solos estimadas (fator A), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Agência Espacial Europeia (ESA)
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Agência Nacional de Mineração (ANM)
Áreas de Preservação Permanente (APP)
Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)
Companhia Vale do Rio Doce (CVRD)
Comprimento de rampa (L)
Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALUMAR)
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)
Coronavírus (COVID-19)
Declividade das vertentes (S)
Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)
Depósitos Mangues (Q2pm),
Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG)
Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
Environmental Systems Research Institute (ESRI)
Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS)
Erodibilidade (K)
Erosividade (R)
Estados Unidos da América (EUA)
Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)
Fator topográfico (LS)
GOVERNO DO BRASIL (GOV.BR)
Grupo Barreiras (ENb)
Grupo de Pesquisas em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP)
Grupo Itapecuru (K12it)
Índice relativo à prática conservacionista adotada (P)
Índice relativo ao fator uso e manejo da terra (C)
Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)

Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural (INCID)

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC)

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Keyhole Markup Language (kmz)

Máxima Verossimilhança (MAXVER)

Média mensal do índice de erosividade (EI)

Metros (m)

Milímetros (mm)

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Modelo Digital do Terreno (MDT)

Neógeno (23Ma)

Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO)

Organização Mundial da Saúde (OMS)

Ponderação do Inverso da Distância (IDW)

Pontos por Polegada (DPI)

Projeto de Assentamento Estadual (PE)

Quantum GIS® (QGIS)

Quilômetro (km)

Red, Green e Blue (RGB)

Relatório Ambiental Preliminar (RAPs)

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Sistema de Informação Geográfica da Mineração (SIGMINE)

Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS)

Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH - SP)

Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF)

Triangular irregular networks (TIN)

Unidade de Ensino Básico (UEB)

Universal Soil Loss Equation (USLE)

Universal Transversa de Mercator (UTM)

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Uso e cobertura/práticas conservacionistas (CP)

Zona de convergência intertropical (ZCIT)

Zona de Proteção Ambiental (ZPA)

Zona de Proteção Ambiental 2 (ZPA2)

Zona Especial de Interesse Social 2 (ZEIS2)

Zona Industrial 2 (ZI2)

Zona Industrial 3 (ZI3)

Zona Industrial de Grande Porte (ZIGP)

Zona Industrial de Logística (ZIL)

Zona Industrial de Porto e Retroporto (ZIPR)

Zona Mista Industrial (ZMID)

Zona Mista Rural (ZMRU)

Zona Residencial 10 (ZR10)

Zona Rural (ZRU)

Zoneamento Econômico Ecológico do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão (ZEE - MA)

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE FOTOS	14
LISTA DE GRÁFICOS	16
LISTA DE MAPAS	18
LISTA DE TABELAS.....	20
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	21
1. INTRODUÇÃO	26
2. OBJETIVOS.....	30
2.1 Geral	30
2.3 Objetivos Específicos.....	30
3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	31
3.1 Geografia: Relação Natureza x Sociedade	31
3.2 Categorias do Espaço Geográfico: natureza, sociedade, tempo e espaço.....	34
3.3 Conceitos da Geografia	38
3.4 Novo Olhar: Ambiente	40
3.5 Bacia Hidrográfica	43
3.6 Processos Erosivos e Erosão Laminar	45
3.7 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)	51
3.8 Fragilidade Ambiental e Principais Referências	54
3.9 Técnicas de Geoprocessamento	60
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64
4.1 Levantamento e Análise de Material Bibliográfico	64
4.2 Elaboração do Material Cartográfico Geoambiental	64
4.2.1 Zoneamento	66

4.2.2	Uso e Cobertura da Terra.....	67
4.2.3	Geologia	69
4.2.4	Geomorfologia.....	69
4.2.5	Hipsometria	70
4.2.6	Declividade.....	70
4.2.7	Curvaturas da Superfície	71
4.2.8	Esboço das Principais Classes de Solos	72
4.3	Trabalhos de Campo	72
4.4	Fragilidade Ambiental	76
4.5	Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)	80
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
5.1	Características Geoambientais da Área de Estudo	99
5.1.1	Zoneamento	100
5.1.2	Geologia	119
5.1.3	Geomorfologia.....	128
5.1.4	Solos	138
5.1.5	Análise Pluviométrica	143
5.1.6	Uso e Cobertura da Terra.....	146
5.1.7	Processos Erosivos	167
5.2	Análise da Fragilidade Ambiental e Perdas de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros	173
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	197
	REFERÊNCIAS	199

1. INTRODUÇÃO

A relação conflituosa da sociedade com a natureza mediante as dinâmicas e tensões territoriais-ambientais que existem devido à essência do capitalismo: a procura por expansão contínua de acumulação de riqueza, que se materializa nas tensões por espaços, recursos naturais, conflitos políticos e a busca desenfreada pela industrialização promovem impactos no ambiente, principalmente nas áreas costeiras, que são particularmente mais sensíveis e frágeis a ocupação dos agentes sociais. Em vista disso, na tentativa de política assertiva em torno da temática ambiental, a Constituição de 1988 (BRASIL, 1988), no § 4º, assegura que a Zona Costeira é patrimônio natural em razão de seus recursos naturais e por ser morada de diversas espécies, dessa forma, deveria ser protegida dentro de uma prática conservacionista.

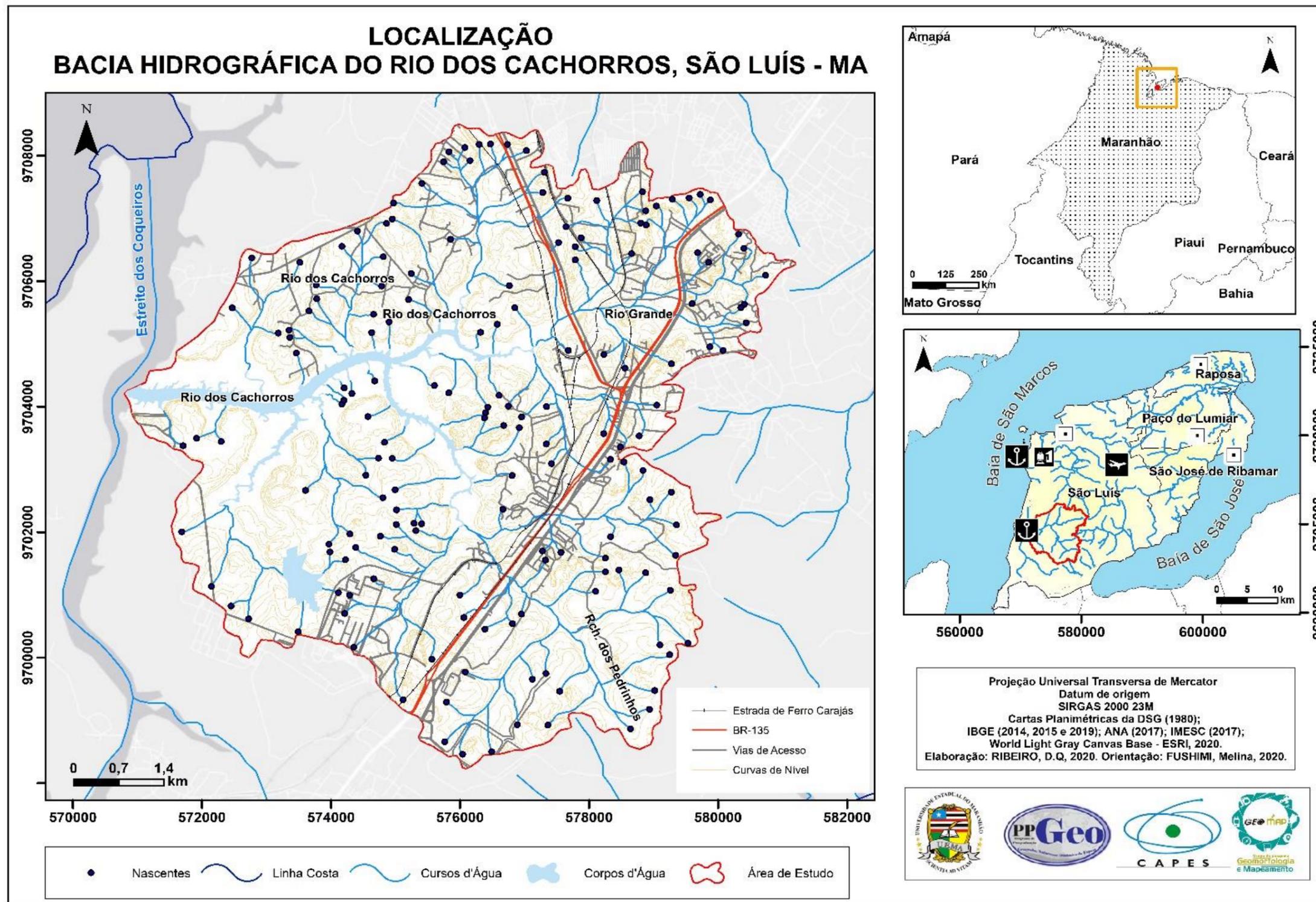
Para mais, a Ilha do Maranhão é parte da zona costeira do estado do Maranhão, com 969,83 quilômetros quadrados (km²), de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), sendo composta pelos municípios Paço do Lumiar, Raposa. São José de Ribamar e São Luís.

Com relação à capital do estado, segundo Lopes (2018, p. 94), “São Luís é uma metrópole periférica na hierarquia urbana brasileira, entretanto é o principal centro do Maranhão, com uma influência sobre 202 municípios, logo sofreu os maiores impactos do acelerado crescimento econômico estadual entre 2000 e 2010”, caracterizado, principalmente, pela inserção de grandes projetos industriais, como a Vale S.A (até 2007 Companhia Vale do Rio Doce - CVRD), Usina Termoelétrica MPX Itaqui e a Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALUMAR), o que propiciou um acentuado crescimento no número de habitantes da cidade. No atual momento histórico, São Luís é a 15º cidade mais populosa do Brasil, com uma população estimada de 1.115.932 pessoas no ano de 2021 (IBGE, 2021).

Dentre as bacias hidrográficas de São Luís, a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros foi uma das áreas da cidade a receber grandes projetos urbanos e industriais, essa urbanização acelerada traz diversas consequências ao ambiente. A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é estuarina, de padrão dendrítico de 5ª ordem, hierarquia de Strahler (ARAUJO; TELES; LAGO, 2009), possui área de 64,37 km² e abrange diversas nascentes.

Essa bacia está situada na porção sudoeste da Ilha do Maranhão e ao sul de São Luís, entre as coordenadas métricas, Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23M; 9700000/9708000 de latitude sul e 570000/582000 de longitude oeste (Mapa 1), fazendo parte do Bioma Amazônico brasileiro.

Mapa 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Elaborado pela autora (2020).

Essa bacia localiza-se cerca de 10 km do Porto do Itaqui, um marco do sistema portuário brasileiro e um ponto estratégico do estado do Maranhão. Por ser uma área próxima ao Porto é marcada por disputas territoriais, em razão da posição geográfica privilegiada e por seus recursos naturais. Trata-se de uma bacia com constante tensão territorial-ambiental, ocasionada principalmente por conflitos por interesses distintos e divergentes, espaços ocupáveis e exploração de recursos.

Essa área é composta por classes sociais que possuem interesses diversos, como comunidades tradicionais, polos industriais, atividades de mineração e pelas instalações da ALUMAR, bem como pelo seu porto, que utilizam dos cursos d'água dessa bacia como meio de escoamento de material industrial e forma de transporte de materiais.

Em vista disso, apresenta-se como uma bacia hidrográfica relevante ambientalmente para a Ilha do Maranhão, em razão de suas diversas frações sociais e de suas características naturais. Nessa perspectiva, Suertegaray e De Paula (2019, p. 85), afirmam que “o social amplia a compreensão do natural pelo uso, pela apropriação e pelo valor atribuído ao ambiente”.

Tendo em vista a importância dessa bacia hidrográfica, suas características geoambientais, a presença de extração mineral, a sua predisposição aos processos erosivos, dentre outros fatores, a presente pesquisa propõe analisar a fragilidade ambiental dessa área e a suas perdas de solos por meio da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)¹. Nesse sentido, os trabalhos de fragilidade ambiental partem da premissa de um ordenamento territorial e ambiental embasado no desenvolvimento com uma política conservacionista.

Para mais, a presente dissertação está estruturada em seis capítulos. Primeiramente o capítulo introdutório, secundamente o capítulo com os objetivos e já no terceiro capítulo é retratado o referencial teórico-metodológico norteador da pesquisa, no qual conta com as discussões a respeito de natureza e sociedade, das categorias do espaço geográfico, dos conceitos da Geografia, do problema terminológico-conceitual acerca de ambiente, principal conceito utilizado neste trabalho.

Além disso, ainda no terceiro capítulo se traz a apresentação da bacia hidrográfica como unidade geográfica de estudo, o comportamento dos processos erosivos, especialmente a erosão laminar e as técnicas de geoprocessamento que

¹ Equação Universal da Perda de Solos (EUPS); *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

permitem a execução deste estudo. Além disso, no quarto capítulo é descrito os procedimentos metodológicos desta pesquisa. No quinto são os resultados e discussões, e no sexto são as considerações e recomendações. Dito isso, passemos agora para os objetivos da presente dissertação.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros por meio da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS).

2.3 Objetivos Específicos

- Caracterizar os aspectos do substrato rochoso, relevo, solo, precipitação, uso da terra e cobertura vegetal, com a finalidade de auxiliar a análise da dinâmica do ambiente de estudo;
- Produzir a Carta de Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros;
- Discutir a interferência de cada uma das variáveis geoambientais nos níveis de fragilidade ambiental, com vistas a contribuir com o poder público municipal para um planejamento ambiental adequado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Neste capítulo, trata-se do que é Geografia, bem como qual é o objeto de estudo dessa ciência, as categorias do espaço geográfico e os seus conceitos bases. Além disso, é analisado a relação natureza e sociedade e a forma que o conceito ambiente trabalha a socialização desses dois elementos, consistindo no conceito epistemológico norteador dessa dissertação.

No mais, discorre-se sobre bacia hidrográfica, como unidade geográfica de estudo deste trabalho e suas características, tal como o comportamento dos processos erosivos, especialmente a erosão laminar. Aborda-se também sobre o tema e a proposta metodológica escolhida que é a fragilidade ambiental, tal como a apresentação do modelo optado, a Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) que permite a previsão das perdas de solo causadas pela erosão laminar. Por último, debate-se sobre as técnicas e o conjunto de tecnologias que envolvem o geoprocessamento, estas que possibilitam a execução dessa dissertação.

3.1 Geografia: Relação Natureza x Sociedade

O que é Geografia? “Uma disciplina simplória e enfadonha?” (LACOSTE, 2009, p. 21) Qual é o objeto da Geografia? A Geografia, para Lacoste (2009), é inicialmente um saber estratégico, ligado as operações militares e de guerra. Durante as guerras não foi importante delimitar a Geografia como uma ciência, pois, os objetivos desses períodos históricos não estão relacionados com a difusão de conhecimento científico, mas sim a aplicação de práticas estratégicas limitadas ao governo. De modo sucinto, a Geografia, havia se tornado uma grande ferramenta de conquista e controle territorial.

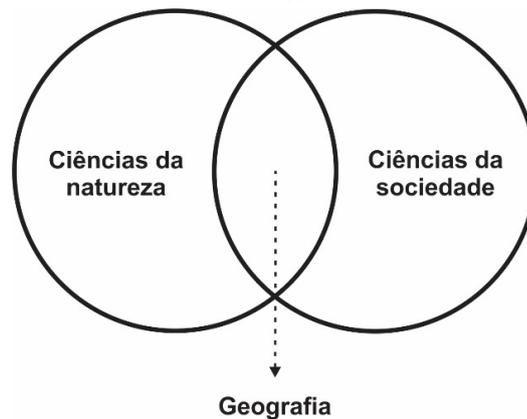
Mas ainda que o uso do rótulo Geografia seja antigo e que qualquer pessoa pode dar uma explicação do seu significado, em termos científicos existe um desentendimento sobre o assunto tratado por este campo do conhecimento, isso fica evidente na indefinição do objeto dessa ciência, como discorrido por Moraes (2007).

Além do mais, segundo Moraes (2007), alguns autores definem a Geografia como o estudo da superfície terrestre, da paisagem, da individualidade dos lugares, da diferenciação de áreas, do espaço e assim por diante, essas definições resultam das bases

do positivismo. Assim, a Geografia é marcada pela pluralidade de ideias.

A respeito dessas inúmeras interpretações e em consequência dos diversos objetos existentes no debate geográfico, foi criada “[...] a autoimagem da Geografia como uma “ciência-ponte” (Figura 1), uma ciência na “charneira” (atualmente diríamos: na interface) do conhecimento sobre a natureza com o conhecimento sobre a sociedade” (SOUZA, 2018, p. 276).

Figura 1 – Representação da Geografia como uma “ciência ponte” entre as ciências da natureza e da sociedade

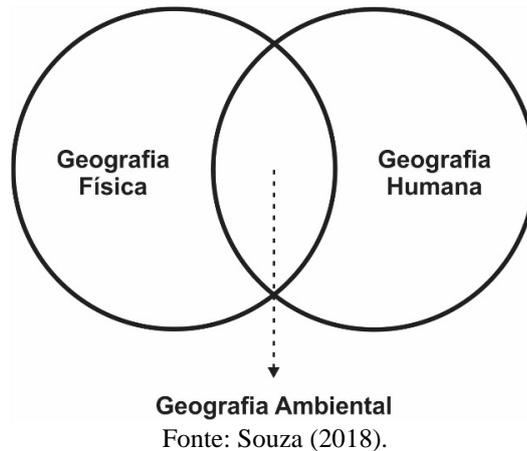


Fonte: Souza (2018).

“A Geografia já foi considerada como uma ciência em crise, o que talvez ela ainda seja no contexto contemporâneo” (POLON, 2016, p. 86). Some-se a isso que “o panorama da ciência contemporânea, com suas muitas fissuras e fraturas, em que sobressai o fosso entre o estudo da natureza e o estudo da sociedade, pode incomodar pessoas de várias áreas” (SOUZA, 2018, p. 277), incluindo os próprios geógrafos.

Ainda de acordo com Souza (2018, p. 275), “malgrado o que se possa achar, no presente momento histórico, no interior do ambiente de socialização acadêmica conhecido por “Geografia”, refletir sobre “natureza” e “sociedade” é algo que está na ordem do dia, para não dizer na moda”. Por conseguinte, é fundada a partir desses debates acadêmicos, a Geografia Ambiental (Figura 2), que surge como uma nova maneira epistemológica de olhar o mundo (SOUZA, 2018; 2019), uma tentativa para se relançar a união da Geografia.

Figura 2 – Representação da Geografia Ambiental como uma interseção entre a Geografia Física e a Humana



No mais, partindo da ideia de que independentemente da dicotomia entre Geografia Física e Geografia Humana compreende-se que não é mais aceitável desprender natureza de sociedade (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019), dado que todos os fenômenos ambientais são atualmente identificados como híbridos (SUERTEGARAY, 2002).

Historicamente, toda sociedade cria uma determinada concepção do que seja a natureza, assim como a própria concepção de sociedade. No mais, “no espaço a natureza e sociedade são mediatizadas pelo trabalho, estando este na base das relações sociais” (POLON, 2016, p. 87), ou seja, as relações sociais são inerentes ao espaço geográfico.

Factualmente, as técnicas e ferramentas foram desenvolvidas pela sociedade para a retirada dos recursos da natureza, inicialmente, para a sobrevivência humana dos agentes sociais e conforme Guimarães (2014, p. 60), a manipulação do fogo e a domesticação de animais e plantas “[...] foram algumas das primeiras técnicas que alteraram significativamente a relação da sociedade com a natureza.”. Nesse sentido, Moreira (1993) discorre que a história da sociedade - natureza são inseparáveis, por consequência, essa relação é um elo histórico.

Respaldados nessas premissas, os projetos de fragilidade ambiental buscam uma relação entre natureza e sociedade, onde o entendimento básico é um ordenamento territorial-ambiental embasado no desenvolvimento com uma política ambiental conservacionista.

Por fim, compreende-se que, por consequência da falta de concordância do que seria o “foco” dessa ciência, originaram-se várias definições de objetos de estudo que serão debatidos nos próximos tópicos. Essas várias definições, categorias e conceitos podem ser vistas como tentativas distintas de entender o pensamento geográfico.

3.2 Categorias do Espaço Geográfico: natureza, sociedade, tempo e espaço

Primeiramente, a diferença de categoria para conceito é que “a categoria define os modos de ser, enquanto o conceito define a ideia ou conjunto de ideias a respeito de alguma coisa ou fenômeno” (SILVA, 1986, p.28).

Diversas categorias, como natureza, sociedade, tempo e espaço, tal como apontado por Suertegaray (2001), estão contidas na complexa definição de espaço geográfico. Primeiramente, natureza, de acordo com Whitehead (1994, p.7), “[...] é aquilo que observamos pela percepção obtida através dos sentidos”. Complementando esse entendimento, Nunes (2004), disserta que a natureza é desde o ar que se respira, a água que se consome e o solo que se usa. Além disso, é também as rugosidades temporo-espaciais propostas por Santos (1996).

Relativo a esse debate, é possível destacar que a natureza que se analisa na presente pesquisa é a segunda natureza ou natureza transfigurada (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019). Além do mais, a própria representação do que seria natureza é uma construção histórico-cultural (SOUZA, 2018).

De fato, habitualmente a natureza é vista como algo externo a sociedade, diante disso, Suertegaray (2001) disserta que esse entendimento é fruto do contexto econômico e social de separação entre natureza e sociedade, de tal forma que a natureza é transformada em objeto de dominação dos agentes sociais, por conseguinte esses agentes não se sentem parte da natureza, resultando em negligência com o planeta.

Aliás, historicamente “a busca da articulação entre natureza e sociedade não foi [e ainda não é] tarefa fácil para os geógrafos” (SUERTEGARAY; NUNES, 2001, p. 15), no entanto, “tornou-se corrente admitir que a “natureza” que interessa ao geógrafo é sempre hominizada” (SOUZA, 2018, p. 297), todavia o pesquisador não pode ignorar os processos naturais existentes. De acordo com Mendonça (2021), é na ciência geográfica que a natureza assume sua função social mais relevante.

É fato que na sociedade atual os temas alusivos à natureza continuam significativos, devido a necessidade da constante obtenção de materiais para fabricação

de produtos, tal como a tentativa de reprodução de recursos em laboratório (SUERTEGARAY; NUNES, 2001). Nesse sentido, a questão ambiental na perspectiva do capital é vista como fundamental para decifrar, explorar, gerar e controlar a natureza.

Para Suertegaray (2002, p. 161), “em outras palavras, vivemos um momento da história no qual a natureza, e sua degradação, é apropriada como forma, cada vez mais ampliada, de produção/acumulação”. Entende-se que a natureza não é vista como um bem, mas como um recurso à produção, parte principal do processo expropriação-apropriação-mercadorização. Desse modo, esse trio é responsável pela degradação acelerada dos ambientes.

Sobre a categoria sociedade, baseado em Suertegaray (2001), a Geografia em seus primeiros momentos trabalhou mais com o conceito de comunidade e posteriormente tendeu a neutralizar e desvalorizar as relações sociais. Para Suertegaray (2001), essa compreensão foi modificada em conformidade com a aproximação da Geografia com a Sociologia, e à vista disso, os geógrafos passaram a se preocupar com o espaço geográfico o entendendo como fruto da maneira que as sociedades se organizam. Posteriormente, “[...] descobre-se que a sociedade é o seu espaço geográfico e o espaço geográfico é a sua sociedade”, segundo Moreira (2009, p. 32).

A sociedade no sistema econômico vigente, capitalismo, é marcada por relações que planejam o lucro máximo, existindo a classe dominante, aquela que possui mais mecanismos financeiros, e a dominada, tratando-se da mais explorada e a desprovida de capital. Ambas as classes não se relacionam com o ambiente da mesma maneira, pois possuem objetivos distintos.

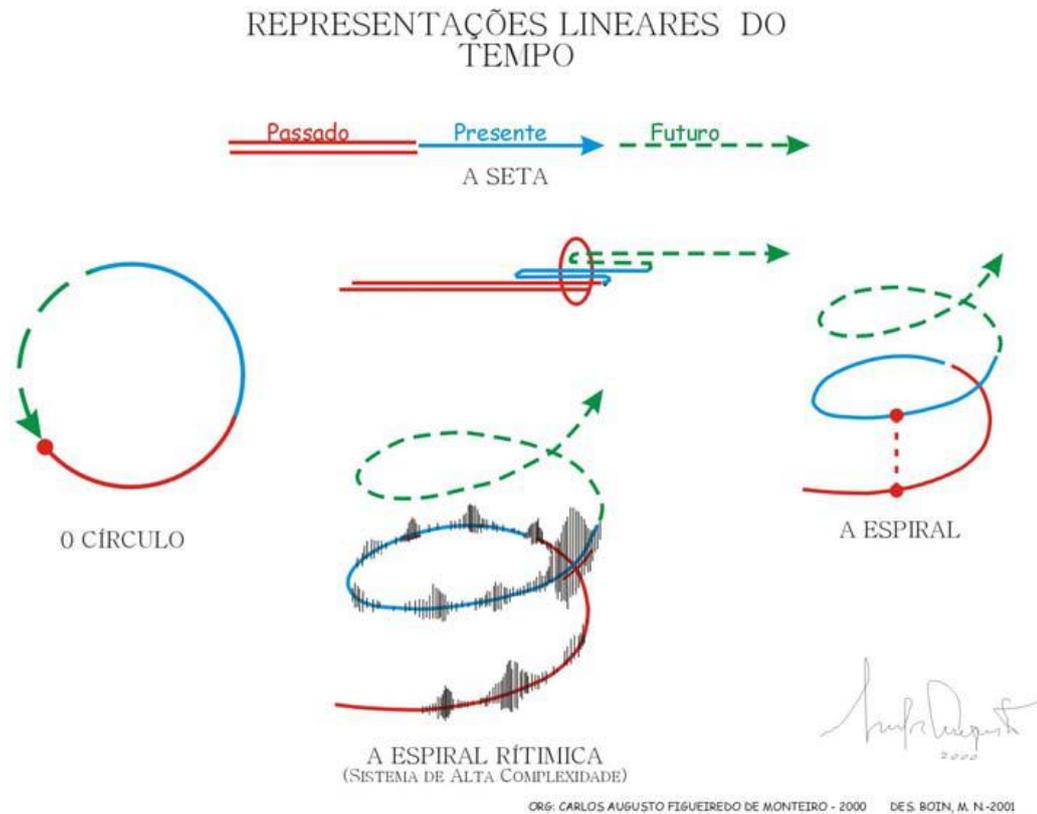
No capitalismo entram em conflito a reprodução do capital com os interesses por um ambiente mais equilibrado. Por isso, existem diversas leis para garantir a preservação do ambiente, mas todas utilizam da expressão “meio ambiente”, por analisarem o ambiente a partir do viés da Ecologia.

Essas legislações são muito importantes, sobretudo aquelas que possuem como penalidades multas, como forma de tentativa forçada de sensibilização ambiental. Um exemplo de lei federal de proteção ambiental é o Código Florestal, nº12.651/12 (BRASIL, 2012), no qual são determinadas as Áreas de Preservação Permanente (APP), que são zonas fundamentais para a manutenção dos recursos hídricos.

No que se refere ao tempo (Figura 3), a Geografia em seu início trabalhou com as relações da comunidade com o meio em uma visão de seta-evolução, mais tarde

o espaço geográfico foi estudado em uma perspectiva de ciclo. Enquanto na Geografia Crítica passou-se a completar o tempo como espiral (SUERTEGARAY, 2001).

Figura 3 – Representações do tempo



Fonte: Monteiro (2001).

“A seta do tempo representa o fluir inexorável e irreversível do tempo. É o tempo da Física, da Ciência. É o tempo do profano, aquele da reta” (MONTEIRO, 2001, p. 140), por outro lado, “o tempo mítico, ritualizado, é circular, voltando sempre sobre si mesmo” (MONTEIRO, 2001, p. 140).

Enquanto o tempo espiral, permite retornos do passado no presente. Na Geografia, o tempo espiral estaria relacionado com o espaço geográfico, pois este é fruto do passado reconstituído no presente (SUERTEGARAY, 2001). Nos estudos geomorfológicos, é comum se utilizar da ideia de tempo produzido pela Geologia, o tempo profundo, tempo que escoia, o tempo que passa – *time*. (SUERTEGARAY; NUNES, 2001; SUERTEGARAY, 2002).

Esse tempo está relacionado com a morfogênese, na tentativa de explicar a origem do relevo, privilegiando a escala regional, entretanto, a a partir dos anos de 1950, a Geomorfologia começou a dar ênfase as análises morfodinâmicas, interações do

presente com projeções a eventos futuros. Para isso, utiliza de escalas de tempo curto, o tempo que faz – *weathering* (SUERTEGARAY, 2002).

Nesse sentido, de acordo com Suertegaray e Nunes (2001, p. 19), “o tempo que faz é percebido como um período curto, incapaz de gerar transformações da ordem daquelas analisadas quando se trabalha com a concepção de tempo profundo.” E como já tratado anteriormente, o tempo atual é marcado pela necessidade de entender a natureza com objetivo de exploração e uma das preocupações mais pertinentes tem sido o não esgotamento da natureza, visando sempre a disputa por recursos, tratando-se de uma disputa ambiental e territorial. À vista disso, transformando-se em um tempo multidimensional, assim como referido por Suertegaray e Nunes (2001, p. 18):

“É o tempo da resposta rápida para a elaboração dos RAPs, EIA/RIMAS e tantos outros relatórios e laudos técnicos que são feitos seguindo modelos preestabelecidos, como se tivessem todas as soluções possíveis para resolver todos os problemas ambientais”.

Para mais, o tempo é relativo, como também é uma construção histórica que retrata as reflexões das sociedades e suas necessidades. Hoje, para os geógrafos é mais interessante o estudo do tempo curto, pois comumente, a sociedade modifica o seu entorno quase de modo instantâneo, graças as tecnologias e aos interesses econômicos e políticos.

Por último, a categoria de espaço, tem sido, historicamente, confundida com o objeto da próprio da Geografia” (SUERTEGARAY, 2001). O espaço é um conceito complexo que vem significativamente debatido por vários teóricos da Geografia, no entanto certamente não é tarefa das mais fáceis.

No início, o espaço foi idealizado como espaço absoluto, espaço receptáculo, espaço continente, lugar de ocorrência do fenômeno geográfico e conseqüentemente tornou-se demarcável, em seguida, após os anos 50, começou-se a falar do espaço relativo (SUERTEGARAY, 2001).

De modo posterior, Harvey (1980) vai conceber o espaço como sendo ao mesmo tempo, absoluto, relativo e relacional. Em outros tempos, Santos (1980, 2002), discursa que o espaço é a acumulação desigual de tempos, tal como considera que espaço-tempo são categorias indissociáveis. Além disso, os elementos do espaço estão sujeitados a modificações quantitativas e qualitativas, assim como os elementos do espaço precisam ser tidos como variáveis (SANTOS, 1985).

Uma característica basal do conceito de espaço geográfico é a articulação entre natureza e sociedade (GIOMETTI; PITTON; ORTIGOZA, 2012). Esse conceito

[...] é compreendido como a expressão da conjunção entre o que é chamado de natureza e o que se compreende como sociedade” (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019, p. 87), baseado nestas premissas que é inviável a existência da separação do físico e do humano.

Para Santos (1996), o debate sobre as categorias e os conceitos está relacionada principalmente com a aplicação deles próprios, objetivando construir um conhecimento da realidade em movimento. Em síntese, é intrínseco a sociedade a necessidade de conhecer e modificar o seu espaço geográfico e cabe a Geografia discutir esse importante conceito sem dicotomias. Além do mais, as mudanças teóricas sobre os conceitos e as categorias são sempre acompanhadas pelas transformações dos anos e da própria definição do que seria a Geografia ao decorrer da história dessa ciência, e nesta dissertação será usado o conceito de ambiente.

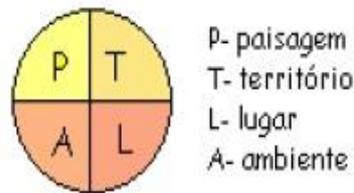
3.3 Conceitos da Geografia

Os principais conceitos da Geografia são espaço, lugar, paisagem, região, território, ambiente, dentre outros. Esses conceitos dão subsídio para análise dos fenômenos geográficos e são representações, e caminhos metodológicos a serem seguidos, conforme Suertegaray e De Paula (2019). Dessas várias concepções metodológicas, o espaço geográfico, é a categoria central para a Geografia, compondo-se como o conceito mais abrangente, conseqüentemente o mais abstrato (SUERTEGARAY, 2001).

Segundo Santos (1997), o espaço geográfico é entendido como um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações, ainda mais, Suertegaray (2001), define o espaço geográfico como um todo uno, múltiplo e complexo, bem como dinâmico.

Nesse entendimento, as concepções de paisagem, território, lugar e ambiente, cada uma expressam uma possibilidade de leitura de espaço geográfico concebendo um caminho metodológico próprio (SUERTEGARAY, 2001). Com referência a Figura 4, Suertegaray (2001, p. 8), disserta que “paisagens contêm territórios que contêm lugares que contêm ambientes valendo, para cada um, todas as conexões possíveis.”

Figura 4 – Representação do espaço geográfico



Fonte: Suertegaray (2001).

Por exemplo, a paisagem permite analisar o espaço geográfico seja sob a esfera da conjunção de elementos naturais e tecnicados ou por intermédio das conexões socioeconômicas e culturais (SUERTEGARAY, 2001). No caso, “sob o conceito de território, tratamos o espaço geográfico a partir de uma concepção que privilegia o político ou a dominação-apropriação” (SUERTEGARAY, 2001, p. 5). O território são as relações de poder projetadas no espaço geográfico.

A respeito de lugar, trata-se da expressão do espaço geográfico na escala local, uma noção que nos remete a reflexão de nossa relação com o mundo, assim como o sentido de *locus* da vida (SUERTEGARAY, 2001). De modo simplista, o lugar seria o espaço geográfico pelo qual as pessoas tem afetividade.

No que se refere ao ambiente, “[...] podemos afirmar que a Geografia tem pensado o ambiente diferentemente da Ecologia, nele o homem se inclui não como ser naturalizado, mas como um ser social produto e produtor de várias tensões ambientais” (SUERTEGARAY, 2001, p. 7), com base nisso, é importante analisar o ambiente na sua integralidade. Dessa forma, “compreende-se o ambiente como o espaço em que vivemos e interagimos de modo harmônico ou conflituoso com a natureza [...]” (NUNES, 2004, p. 7).

No atual momento histórico, o ambiente tem demonstrado muitos sinais de desequilíbrio, muitas vezes relacionados à forma com que a sociedade se apropria deste, sendo este o conceito principal a ser utilizado nesta dissertação. Entende-se que a questão ambiental é uma das dimensões da produção do espaço geográfico.

Para mais, ambiente, território e lugar, raramente estão separados, a distinção dos conceitos é conveniente para estabelecer as diferenças entre as dimensões metodológicas, porém esses conceitos estão interligados, sobretudo no contexto social e econômico do capitalismo. Baseado nesses conceitos, é possível refletir integralmente

sobre o cotidiano, os modos de vida, as formas e os agentes de produção, dentre outras questões. Esses conceitos são muito importantes para entender as dinâmicas da relação natureza e sociedade.

Segundo Polon (2016, p. 83), “[...] as discussões teóricas acerca dos conceitos da Geografia não são uma questão finalizada, mas que possibilitam novas e constantes reflexões.” Quanto a isso, as mudanças conceituais também sempre são acompanhadas por alterações do campo de atuação da Geografia e das transformações históricas da sociedade.

Dado ao que foi exposto, cabe ressaltar que há a existência de outros conceitos, tal como o de região, porém que não foram aqui abordados, em virtude que a presente fundamentação teórico-metodológica demonstra uma leitura do espaço geográfico no âmbito da questão ambiental, com objetivo de estudar a dinâmica da fragilidade e dos processos erosivos existentes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

3.4 Novo Olhar: Ambiente

É característico à Geografia moderna a fragmentação, como já dito anteriormente, sobretudo a separação da natureza e sociedade, Geografia Física e Humana (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019). Em Suertegaray (2017), foi apontada a relevância de religar a Geografia, tal qual apresentado por Nunes (2014), Souza (2018), Suertegaray e De Paula (2019), dentre outros autores. Dessa maneira, considerado como uma possibilidade de buscar essa religação da Geografia, inicia-se a discussão sobre ambiente e Geografia Ambiental.

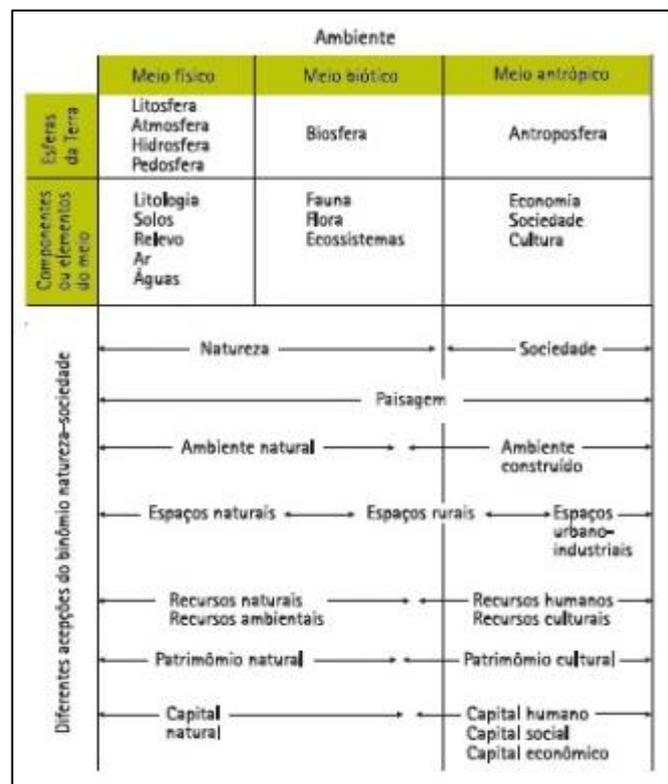
No Brasil, ambiente é tomado como sinônimo de “meio ambiente”, dois termos que exprimem metade de uma ideia: o ambiente enquanto “natureza primeira” ou natureza não humana. Outra questão pertinente, é a redundância do termo socioambiental, que tantos pesquisadores adotam como modo de deixar claro que não estão se referindo ao “meio ambiente”, mas também as relações sociais (SOUZA, 2019), na tentativa de renunciar estas ideias, passou-se a utilizar o conceito de ambiente e a expressão (socio)ambiental. De acordo com Souza (2019), “oxalá seja possível, um dia, abrir mão completamente do prefixo “socio” sem que se pense, por conta disso, que se está a tomar “ambiente” por “meio ambiente”. Mas esse dia ainda parece distante”.

O conceito de ambiente dispensa o termo “meio”, assim como o termo “socio”, pois, o ambiente inclui o saber sobre a natureza e sobre a sociedade, o ambiente

por inteiro. Segundo Souza (2018, 2019), a rede de pesquisadores em torno da Geografia Ambiental entende que essa discussão não constitui uma tentativa de substituir os conceitos da Geografia Física e da Geografia Humana, e nem criar um terceiro campo, mas criar um olhar, um projeto em construção que pretende “[...] promover a valorização de problemas e questões em que o diálogo de saberes vinculados ao conhecimento da Terra como morada humana dá o tom” (SOUZA, 2019, p. 21). A palavra meio é saturada de ecologismo, enquanto a concepção de ambiente é marcada pelas relações sociais.

Relativo ao tema, é possível destacar que existe uma abrangência do conceito ambiente em termos correlatos em diferentes tipos de análise, mas comumente é dividida em meio físico, biótico e antrópico, cada um deles agregando o conhecimento de diversas disciplinas afins (SÁNCHEZ, 2006). A Figura 5, “é uma síntese das diferentes acepções do ambiente e termos descritivos de diferentes elementos, compartimentos ou funções” (SÁNCHEZ, 2006, p. 21), porém nesse tipo de análise, separação do ambiente por meios (físico, biótico e antrópico), é algo muito comum na Biologia e Ecologia, a vista disso, o homem tem características de ser orgânico, por outro lado, na presente dissertação são abordados as frações sociais organizadas em sociedade.

Figura 5 – Abrangência do conceito de ambiente



Fonte: Sánchez (2006).

Nesse sentido, na Geografia, o ambiente é uma construção social, e pensar ambiente nessa ciência é refletir a socialização da natureza pela sociedade. No ambiente é expressado, além da natureza, os conflitos sociais, políticos e econômicos. Segundo Souza (2020, p. 23), a articulação de ambiente, território e lugar “[...] expressam nada mais que dimensões de uma realidade “sócio-bio-física” total que se nos apresenta, em si mesma, como indivisível na qualidade de mundo concreto.”

As relações de poder (território), e as identidades (lugar), são elementos essenciais para compreender as disputas em volta aos direitos de permanência e acesso aos recursos, tal qual o âmbito “sócio-natural” (ambiente), para entender os constituintes do espaço geográfico (SOUZA, 2020). Nesse contexto, para Souza (2020, p. 24), a partir da articulação desses conceitos é possível analisar “o entrecruzamento de modo de vida e espaço geográfico e as razões pelas quais os agentes/atores lutam para territorializar certos espaços ou para não serem desterritorializados.”

As interfaces entre ambiente e território, aprofunda as relações econômicas e ecológicas acerca da reflexão dos conflitos. Dessa maneira, a pesquisa ambiental “[...] tem sido a expressão de conflitos sociais, políticos e econômicos e, também, de conflitos sobre a forma de conceber a natureza” (SUERTEGARAY, 2021, p. 91).

No mais, possui como “[...] objeto de análise as sociedades humanas com seus modos de produção, consumo, padrões socioculturais e o modo como se apropriam dos recursos naturais e como tratam a natureza” (ROSS, 2006, p. 351). Essa análise “[...] não se vincula estritamente à dimensão natural, mas compreende as relações sociais: políticas, econômicas e culturais” (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019, p. 85).

Para mais, “tem-se buscado discutir a Geografia a partir da dialógica/dialética entre território e ambiente.” (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019, p. 98), dado que “o social amplia a compreensão do natural, pelo uso, pela apropriação e pelo valor atribuído ao ambiente” (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019, p. 85), visto que as questões ambientais são também questões sociais. Diante disso, entende-se que é indispensável se pensar no todo (natural e social), e analisar de que maneira tudo isso se comporta no espaço geográfico, por isso opta-se por se utilizar do conceito de ambiente na presente dissertação, por ser um conceito potencialmente holístico e integrador (SOUZA, 2020).

Sob o ponto de vista da Geografia Ambiental, no cenário acadêmico, têm-se cada vez mais pesquisas voltadas para a vulnerabilidade, fragilidade e entre outros estudos correlatos, já que são resultantes da interações natureza-sociedade e progressivamente se torna mais imprescindível que as ações humanas sejam compatíveis com as

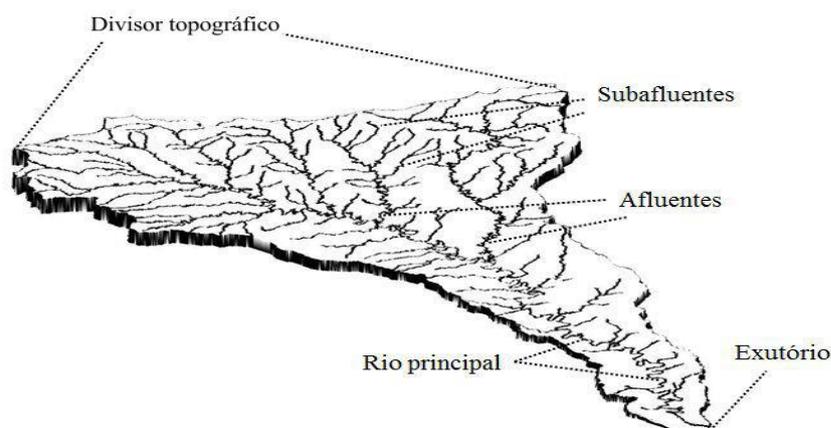
potencialidades e com as fragilidades das bacias hidrográficas que ocupam. Inclusive, pesquisas com essas características podem ser usadas como subsídio pelo poder público municipal para um planejamento ambiental e territorial adequado, bem como para práticas sociais.

Na presente dissertação, trabalha-se com a fragilidade ambiental e com erosão, que mesmo se referindo a fenômenos que se sucedem independentemente da ação dos fatores sociais, a sociedade acaba influenciando e intensificando o seu ciclo de ocorrência e os agentes sociais sofrem com todo esse processo, em função disso, optou-se por trabalhar os processos erosivos com a óptica de ambiente, devido ser um conceito integrador. Inclusive, em conformidade com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 1993), a erosão tem sido considerada uma ameaça a própria existência humana. Por essa perspectiva, ressalva-se a relevância de trabalhos como este.

3.5 Bacia Hidrográfica

Segundo Silveira (2001, p. 40), “a bacia hidrográfica (Figura 6), é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório”, contudo, o conceito “tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental” (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002, p. 14).

Figura 6 – Componentes principais de uma bacia hidrográfica



Fonte: Bernardi *et al* (2013).

Para Guerra (2008, p. 76), “a noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d’água, cursos d’água principais, afluentes, subafluentes etc.”, e “qualquer ponto da superfície faz parte de uma bacia hidrográfica” (LIMA, 2008, p. 39). No mais, a bacia hidrográfica necessita de ordenamento adequado, projetando a conservação dos diversos ecossistemas presentes nela.

Sob esse contexto, destaca-se que o zoneamento de uma cidade deve observar as bacias hidrográficas como unidades de planejamento territorial e ambiental. Acrescenta-se também, que Ross (1994), por intermédio da análise empírica da fragilidade dos ambientes, adota como unidade geográfica de estudo a bacia hidrográfica.

Em Porto *et al.* (2001), é destacado os efeitos da urbanização em relação ao uso e ocupação da terra na área das bacias hidrográficas, como: as alterações do escoamento superficial, canalização dos canais, loteamentos realizados sem condições técnicas adequadas, ocupação de áreas impróprias, como as APP, proliferação de ocupações espontâneas, ocupações extensas e impermeabilizadas dificultando a recarga dos aquíferos, dentre outros fatores.

Essas condutas interferem diretamente na quantidade e qualidade da água, posto que as atividades humanas modificaram o equilíbrio desse elemento na bacia hidrográfica. Por esses motivos, “deve haver um planejamento e uma gestão integrada dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, que ocorrem no âmbito de cada bacia hidrográfica” (COSTA, 2008, p. 725). A partir dessa compreensão, calha trazer a lume o entendimento da legislação nacional referente aos recursos hídricos, a Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas, destaca, entre outras noções, os seguintes fundamentos:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público dos usuários e das comunidades.

A Lei Federal nº 9.984/2000 (BRASIL, 2000), dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, em todo o território nacional, posto que, a bacia hidrográfica como importante conjunto ambiental que engloba elementos de grande relevância para a manutenção da vida deve receber atenção e

proteção.

A Ilha do Maranhão é formada pelas bacias hidrográficas: Santo Antônio, Geniparana, Guarapiranga, Estiva, Inhauma, Cachorros, Tibiri, Itaqui, Anil, Bacanga e Paciência, Além das praias, constituindo uma bacia litorânea. Sobre a área de estudo, a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, a escolha por esta bacia se justifica pela sua grande diversidade e complexidade ambiental, possuindo diversos agentes sociais no mesmo ambiente, como também por fazer parte da Amazônia Oriental.

Quando se estuda bacias hidrográficas é indispensável compreender o solo e todos os processos erosivos atuantes, uma vez que o solo é literalmente a base de todo esse sistema. O solo e a água são essenciais para a vida, essa expressão é clichê, mas é verdadeira, portanto, estudar a dinâmica e distribuição desses elementos na bacia hidrográfica é primordial para se compreender o comportamento do ambiente.

Nesse sentido, as características dos solos estão interligadas diretamente com questões como infiltração e escoamento, esses são processos fundamentais para o ciclo da água. O ciclo hidrológico é essencial para o ciclo erosivo. No mais, o escoamento superficial é responsável pelas erosões laminares e lineares (SALOMÃO, 2014). Outro ponto importante, é que os processos erosivos podem ameaçar os canais e toda a dinâmica de uma bacia hidrográfica, além de afetar as pessoas que ocupam a área.

3.6 Processos Erosivos e Erosão Laminar

O Solo “[...] é a coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva, da mesma maneira que é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo” (LEPSCH, 2002, p. 9-10).

O solo é indispensável para praticamente todas as atividades humanas. Desse modo, a relevância de se estudar o solo “[...] deve-se ao fato de que a apropriação, na maioria das vezes indevida dos recursos naturais, visando à obtenção de matérias primas e alimentos, pode resultar em quadros irreversíveis de degradação ambiental” (NUNES, 2004, p.5). A importância de estudar os solos está relacionada sobretudo com a manutenção da vida e com a análise dos riscos ambientais.

A erosão natural ou geológica é a responsável pela formação dos solos aluviais, das rochas sedimentares, bem como pela transformação do relevo, apresentando-se relacionada com a noção do tempo que esco (SUERTEGARAY; NUNES, 2001;

SUERTEGARAY, 2002). Para mais, os processos erosivos são naturais, relacionados ao tempo geológico, porém são intensificados pela tensão território-ambiente, de problema social a degradação ambiental, á visto disso, “o problema da erosão dos solos vem sendo estudado há algum tempo” (GUERRA; BOTELHO, 2006, p. 181).

O estudo da evolução dos processos erosivos tem sido analisado sobretudo pela geomorfologia, mediante a observações, análises e monitoramento, a partir desses procedimentos têm - se elaborado cada vez mais mecanismos e modelos (OLIVEIRA, 2014), como Kirkby (1987), Lane *et al.*, (1988), Wischmeier e Smith (1978) (Equação Universal da Perdas de Solos, modelo escolhido para esta dissertação), dentre outros.

Para mais, a erosão é considerada um dos maiores riscos ambientais, devido aos grandes danos econômicos e sociais (ALMEIDA FILHO; ALMEIDA, 2016), um dos pontos mais preocupantes são os possíveis impactos ambientais que podem ocorrer devido a ocupação humana desses lugares, conforme discorre Ferreira (2020), e que de modo frequente são apropriadas por pessoas desfavorecidas financeiramente, podendo aqui ser inserido a discussão sobre injustiça ambiental.

A respeito disso, injustiça ambiental ou desigualdade ambiental, seria a percepção referente que os problemas ambientais não atingem igualmente todo o espaço geográfico, ou seja, os segmentos mais pobres estão mais expostos a riscos ambientais, uma vez que a título de exemplo podemos exemplificar que em virtude do padrão acelerado da população, não acompanhado pela oferta de habitações, levam as pessoas a procurarem habitações subnormais, nesse cenário, estão os usos da terra indesejáveis, localizados em áreas desvalorizadas ou em locais insalubres, da mesma maneira que essas áreas que deveriam ser protegidas pela legislação ambiental vigente.

Sobre a relação ciclo hidrológico e ciclo erosivo, a água pode percorrer vários rumos: “primeiro causa *splash*, depois se infiltra, aumentando o teor de umidade, podendo saturar o solo e, finalmente, pode se armazenar nas irregularidades do solo, formando as poças (*ponds*), que eventualmente poderão dar início ao escoamento superficial” (GUERRA, 2014, p. 25), “primeiramente em lençol, depois através de fluxos lineares, que evoluem para microrravinas, podendo algumas formar cabeceiras, e algumas dessas cabeceiras podem bifurcar, formando novas ravinas” (GUERRA, 2014, p. 27). Convém lembrar ainda que a taxa de infiltração “[...] exerce um importante papel para o escoamento superficial” (GUERRA, 2010, p. 140).

É notório que existe uma interdependência entre precipitação, infiltração e

escoamento superficial e subterrâneo. A infiltração afeta diretamente o escoamento superficial e são processos opostos, na medida que a infiltração diminui, o escoamento aumenta (SPOHR *et al.*, 2007). Como quanto maior a compactação do solo menor a infiltração e maior o escoamento superficial, ocasionando o processo erosivo.

Segundo Guerra (2014, p. 19), “a energia cinética determina a erosividade, que é a habilidade da chuva em causar erosão”, sendo considerado pela grande maioria dos autores como um dos parâmetros para indicar a perda de solo. A análise das perdas de solo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é um dos focos desta dissertação.

Acrescenta-se que “[...] quanto maior a energia cinética de uma chuva, maior será a possibilidade em causar a ruptura dos agregados” (GUERRA, 2014, p. 20), por isso, torna-se crucial a presença da matéria orgânica, tendo como objetivo diminuir a instabilidade desses agregados (GUERRA, 2014), desta maneira, o processo erosivo tem a tendência de se acelerar à proporção que mais áreas são desmatadas, assim como, áreas construídas e pavimentadas aumentam substancialmente o volume e a velocidade das enxurradas (SALOMÃO, 2014).

Dessa maneira, para Morgan (1986), e Guerra (2014), o início de qualquer processo erosivo é iniciado quando a água inicia o seu escoamento pelo topo do solo (*topsoil*). Segundo Salomão (2014, p. 229), pode ser desenvolvido dois tipos de erosão: laminar ou em lençol e em sulcos:

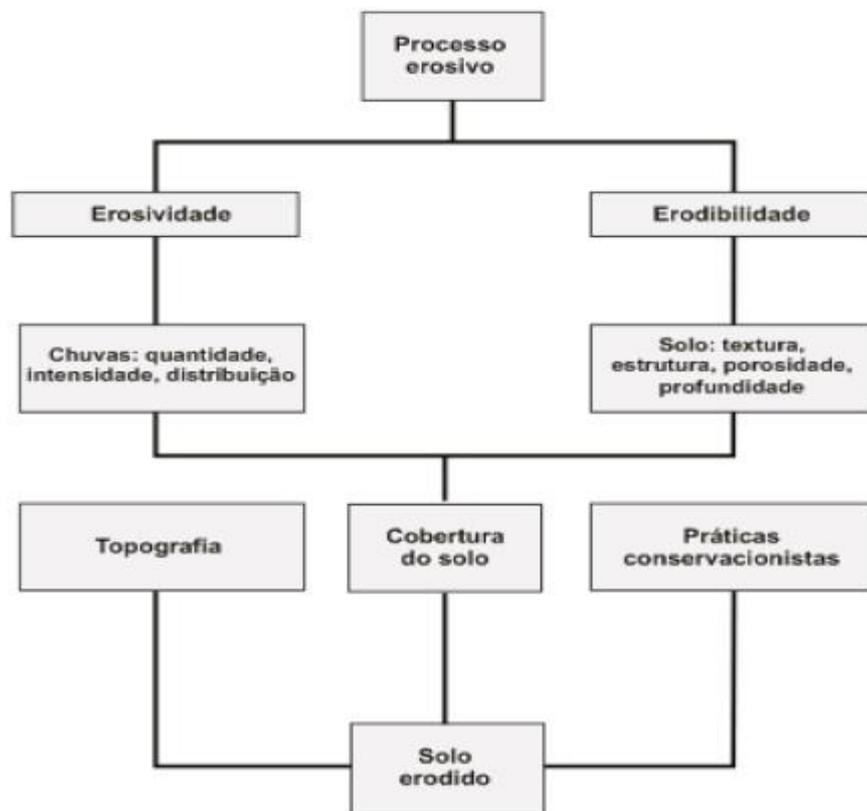
Dependendo da forma em que se dá o escoamento superficial ao longo da vertente, podem-se desenvolver dois tipos de erosão: laminar ou em lençol, quando causada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo, e erosão em sulcos quando causa por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas

Os processos erosivos podem ser estudados com a utilização de diversas abordagens, nesta pesquisa se utiliza da erosão laminar. Para Casseti (2005, p. 147), “o fluxo laminar é responsável por uma erosão oculta, podendo ocorrer de forma relativamente continuada, sem, contudo, deixar marcas empiricamente observáveis na vertente”, é ocasionada por fluxo hídrico não concentrado. Também conhecida como erosão em lençol ou superficial.

Erosão em lençol, “ela recebe esse nome, porque o escoamento superficial, que dá origem a esse tipo de erosão, se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais” (GUERRA, 2005, p. 179). O desenvolvimento dessa erosão

depende da conjunção de fatores (Figura 7), naturais e do uso da terra pela sociedade. Com relação às condições naturais dos terrenos, destaca-se a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solos.

Figura 7 – Esquema do processo erosivo



Fonte: Ramos (1982 apud Prochnow 1990).

Conforme Salomão (2014, p. 231-232), “a água da chuva provoca a erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e por meio do escoamento da enxurrada”. Essa ação erosiva depende da distribuição da chuva e sua intensidade, nessa lógica, “quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior a capacidade erosiva gerado por esse fluxo” (GUERRA, 2005, p. 179).

Segundo, Salomão (2014, p. 232), “quando os outros fatores que provocam a perda do solo por erosão são mantidos constantes, a erosividade é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos.” e a cobertura vegetal é a principal defesa contra esse tipo de erosão.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985), destacam como principais ações da cobertura vegetal, a proteção direta contra o *splash*, dispersão e quebra da

energia das águas de escoamento superficial, aumento da infiltração por atuação das raízes e aumento da capacidade de retenção de água por meio da matéria orgânica.

De acordo com Salomão (2014, p. 233), “a influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa (comprimento da encosta)”, tais fatores interferem na velocidade das enxurradas. O solo, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos constitui um fator natural expressivo relacionado à erosão (SALOMÃO, 2014). “Sua influência deve-se às suas propriedades físicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade e densidade, às suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas” (SALOMÃO, 2014, p. 233).

Para Morgan (1977), o escoamento em lençol torna-se um processo erosivo expressivo, especialmente em solos arenosos, já que, nessas condições, o lençol de água cobre amplas porções das encostas, em contraste com as pequenas áreas atingidas pelas ravinas. Em contrapartida, “em solos mais coesos e, portanto, mais resistentes a ação do *splash* e à erosão em lençol [...]” (GUERRA, 2005, p. 180). As características dos solos determinam a sua maior ou menor capacidade de propiciar a erosão laminar, isto é, a sua erodibilidade (SALOMÃO, 2014).

A partir do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH - SP, 2014), compreende-se que “a erodibilidade não é uma propriedade estática ao longo do tempo. As práticas agrícolas, por exemplo, produzem modificações importantes nas características dos solos, alterando a sua erodibilidade.”

As principais formas erosivas lineares são as ravinas e voçorocas. Segundo Almeida Filho e Almeida (2016, p.2), “uma ravina é o resultado do escoamento superficial, enquanto uma boçoroca/voçoroca é o canal esculpido pelo afloramento do lençol freático no fundo da incisão e pelo escoamento superficial”.

Os principais mecanismos responsáveis pela erosão por ravinas e voçorocas, segundo Oliveira (2014), são o deslocamento de partículas por impacto de gotas de chuva, transporte de partículas de solo pelo escoamento superficial concentrado, transporte de partículas por fluxos concentrados, erosão por quedas-d’água, solapamento da base de taludes, liquefação de materiais do solo, movimentos de massa localizados, arraste de partículas por percolação e arraste de partículas por fluxos concentrados em túneis ou dutos.

Oliveira (2014), aponta que os processos erosivos acelerados estão associados ao desequilíbrio do ambiente, induzidos ou não pela sociedade. Além disso, são feições erosivas: pedestais, alcovas de regressão, filetes subverticais, dutos de convergência e

caneluras, marmitas ou panelas, quedas de areia, quedas de torrões, costelas e depressões, fendas e dutos, movimentos de massa, poças de ressurgência, dentre outras.

Sobre essas feições, os pedestais ou *demoiselles* “[...] indicam a ocorrência de salpicamento intercalado com a remoção das partículas pelo escoamento superficial.”, em conformidade com Oliveira (2014, p. 69). Ainda de acordo com o autor supracitado (2014, p. 70), as alcovas de regressão podem “[...] ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais, quanto pela exfiltração do lençol freático, ou ainda pela combinação desses dois mecanismos.”

Os filetes subverticais são originados comumente em erosões formadas em sedimentos poucos coesivos (OLIVEIRA *et al.*, 1995). Enquanto que os dutos de convergência e caneluras, “[...] indicam variações das características mecânicas das coberturas superficiais.”, no mais, são esculpidas pela convergência de fluxo superficial, conforme Oliveira (2014, p. 70).

De acordo Oliveira (2014, p. 73), as marmitas ou panelas “[...] indicam a atuação de erosão por quedas-d’água na base de taludes ou de degraus no interior de voçorocas.” Enquanto que as quedas de areia [...] resultam da liquefação espontânea de materiais inconsolidados e não coesivos” (OLIVEIRA, 2014, p. 73), ao passo que as quedas de torrões [...] caracterizam movimentos de massa associados, seja ao solapamento da base de taludes, seja ao desprendimento de material ao longo de fendas de tração” (OLIVEIRA, 2014, p. 75).

Em conformidade com Nascimento (1998), as costelas e depressões são feições de detalhe que podem ser encontradas em materiais de origens diversas, que indicam variações, em profundidade da resistência ao cisalhamento dos materiais de cobertura superficial à medida que as fendas e dutos [...] indicam a existência de movimentos generalizado da encosta em torno da incisão erosiva” (OLIVEIRA, 2014, p. 75).

Os movimentos de massa [...] mais comuns estão associadas à extensão para montante ou ao alargamento das incisões erosivas” (OLIVEIRA, 2014, p. 77) enquanto que as poças de ressurgências [...] indicam áreas de ressurgência do lençol freático, ao longo de incisões erosivas” (OLIVEIRA, 2014, p. 77).

Nesse sentido, Oliveira (2014) evidencia a importância do cadastramento dessas feições erosivas para a aplicação efetiva de medidas de controle. Baseado nessas premissas, o impacto da erosão sobre a bacia hidrográfica provoca o assoreamento dos seus cursos d’água, afeta a qualidade das águas e altera a intensidade e a frequência de

inundações, dentre outros problemas, dependendo da expressividade dessas situações é necessário a aplicação de medidas de controle.

No mais, “a adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo da erosão depende do entendimento correto dos processos relacionados com a dinâmica de funcionamento híbrido sobre o terreno” (SALMOÃO, 2014, p. 229). Dessa forma, na tentativa de promover a conservação do solo, o reconhecimento dos processos erosivos, da mesma maneira que a diferenciação de onde podem ou não ocorrer, são substanciais para compreender a totalidade do fenômeno, para essas observações podem ser usados alguns modelos, como é o caso da Equação Universal da Perdas de Solos (GUERRA, 2014).

Em vista disso, é importante o desenvolvimento de pesquisas na área de solos, por serem a base da vida, das relações de poder e da construção das identidades. A partir deles é promovido o desenvolvimento das sociedades e dos demais seres vivos, tal como do trabalho, além do mais, dão o alicerce para o ciclo hidrológico e estão diretamente relacionados com as águas subterrâneas.

Além do mais, é evidente a significância de estudos preventivos de erosão, tal como o monitoramento dos processos já existentes, juntamente com a tentativa de controle, tanto em áreas urbanas quanto áreas rurais, visando o equilíbrio dinâmico do ambiente (natureza e sociedade).

Com isso, esse tópico foi fundamental para o entendimento sobre erosão, que é um fenômeno natural do tempo geológico, que é intensificado pelos processos da sociedade. Para mais, foi primordial o levantamento teórico sobre erosão laminar que é o alvo dessa dissertação, e mesmo sendo considerada uma erosão “oculta”, isto é, não é perceptível a curto e médio prazo, em trabalhos de campo foi possível notar indícios do seu acontecimento, sua dinâmica com a fragilidade da área, e entender o comportamento do escoamento superficial difuso sobre a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

3.7 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)

Os solos podem perder materiais de maneira sólida, por via da erosão e em solução, mediante a lixiviação. Existem diversos modelos para calcular tais perdas. Um desses modelos é a Equação Universal da Perdas de Solos (WISCHMEIER; SMITH, 1978), é também um dos mais utilizados, pois permite a previsão das perdas de solo causadas pela erosão laminar e indica quais os elementos que exercem os maiores efeitos

sobre as perdas de solo (ALBUQUERQUE, 1997). No Brasil, a EUPS foi adaptada por Bertoni e Lombardi (1985).

Em concordância com Mafra (2014, p. 316), a EUPS “é uma fórmula empírica, resultado de 10.000 dados de perda de solo em parcelas experimentais, com chuva artificial.” Em Albuquerque *et al* (2005, p. 154), é explanado de forma sucinta a construção desse modelo:

A EUPS, como atualmente é utilizada, foi desenvolvida a partir de 1953, quando o *Soil and Water Conservation Research Division of the Agricultural Research Service* reuniu, na Universidade de Purdue (EUA), dados de escoamento superficial e de perdas de solo de 48 estações experimentais localizadas em 26 Estados dos EUA. Com base nesses dados, incluíram-se inovações importantes que melhoraram a precisão da estimativa de perdas de solo, quais sejam: um índice de erosividade da chuva, um método para avaliação dos efeitos do manejo de uma cultura, um método para quantificar a erodibilidade do solo e um método para determinar os efeitos das interações de variáveis como: produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos culturais.

Para mais, essa equação “quantifica a erosão hídrica a partir de fatores como a erosividade das chuvas, a erodibilidade do solo, a topografia, a cobertura vegetal e as práticas de conservação” (MAFRA, 204, p. 316). Podendo ser aplicada em qualquer lugar, desde que haja dados para ao seu cálculo. Nesse sentido, a EUPS expressa-se pela relação:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

- A= representa a perda total de solo por unidade de área (ha);
- R ou E= erosividade causada pelas chuvas;
- K= erodibilidade dos solos face suas características físicas;
- L= índice relativo ao comprimento da vertente ou rampa;
- S= índice relativo à declividade média da rampa ou vertente
- C= índice relativo ao fator uso e manejo da terra;
- P= índice relativo à prática conservacionista adotada.

(WISCHMEIER; SMITH, 1978) e (ROSS, 1994, p. 70).

A declividade é um fator importante quando se estuda os processos de perda de solo, no entanto um outro aspecto pertinente é o uso e manejo da terra, pois este é o responsável por intensificar a erosão, transformando-os em processos acelerados. Conforme Salomão (2014, p. 236), “a determinação dos valores de perda de solo provocados pela erosão laminar, representados em t/ha, é realizada a partir do cálculo dos índices de cada componente de equação.” Os pesos e fórmulas podem ser adaptados de acordo com a realidade das áreas estudadas.

A erosividade “deverá ser elaborada a partir do cálculo da erosividade média anual para diversas localidades dentro da região estudada, que disponham de registros pluviométricos [...]” (SALOMÃO, 2014, p. 238).

Segundo Salomão (2014, p. 235), “o fator erodibilidade do solo (K), tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso como a perda do solo (A), por unidade de índice de erosão da chuva (EI)”.

O fator (LS), é a relação ao comprimento da vertente/rampa e da declividade da rampa/vertente. Em relação ao índice do fator uso e manejo do solo (C), se caracteriza como: “[...] a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. (SALOMÃO, 2014, p. 233). Como a presente dissertação trabalha como conceito de ambiente, foi optado por se usar o uso da terra, pois ele leva em consideração a função socioeconômica dos recursos, como é o caso da presença das mineradoras na área de estudo.

Para mais, o fator prática conservacionista (P), “[...] é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo por erosão, com determinada prática conservacionista, e aquelas quando a cultura está plantada no sentido de declive [...] (SALOMÃO, 2014, p. 233).

Levando em conta todos esses dados que são pedidos pela equação, o que mais tem tendência a mudar é o fator uso, devido a constante urbanização do ambiente, à visto disso, é indispensável a utilização de imagens de satélites recentes, no caso desta dissertação está se trabalhando com uma imagem de satélite *Sentinel-2* de 2020, além disso foi necessário a consulta da imagem *Maxar Technologies* de 2021 para verificação de mudanças no uso e ocupação.

No estado de São Paulo, “[...] a quantificação das perdas de solo por erosão laminar vem sendo pesquisada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), pertencentes à Secretaria da Agricultura” (SALOMÃO, 2014, p. 236-237), nessa região é frequente o emprego da EUPS e de outros modelos para identificar as perdas de solos.

Na região Nordeste, é interessante haver mais estudos com a Equação, ela deve ser mais explorada, do mesmo jeito que aperfeiçoada os pesos para as características da região e conseqüentemente será possível elaborar interpretações mais reais e efetivas para o planejamento e gestão desses estados. Em Albuquerque *et al* (2005, p. 154), é abordado esse entendimento:

A determinação de fatores da equação universal de perdas de solo, nas condições do semi-árido do Nordeste do Brasil, contribuirá para que se tenha uma previsão das perdas de solo mais precisa, de forma que o planejamento do uso e manejo dos solos da região possa ser estabelecido com maior confiabilidade.

São exemplos de trabalhos que estimam a perda de solos: Maciel (2000), Guimarães *et al.* (2011), Souza e Gasparreto (2012), Thompson e Fidalgo (2013), Barbosa *et al.*, (2015), Corrêa *et al.*, (2017), Uema e Gasparreto (2020), dentre outros.

É de grande relevância a aplicação de modelos que visem compreender a dinâmica erosiva e a perda de solos. A Equação Universal da Perda de Solos se mostra como uma expressão viável para analisar os processos erosivos laminares, por ser plausível de ser aplicada em qualquer lugar, desde que exista dados e que pode ser adaptada. Além de fazer uma análise integrada dos fatores naturais e sociais.

A EUUPS, a análise da fragilidade ambiental e as técnicas geoprocessamento podem compor notáveis instrumentos para o planejamento territorial ambiental, guiando o uso e ocupação da terra adequado e a determinação de práticas conservacionistas propícias em conformidade com as dinâmicas de cada bacia hidrográfica.

3.8 Fragilidade Ambiental e Principais Referências

A análise da fragilidade ambiental estabelece-se com a compreensão do equilíbrio dinâmico e sua avaliação empírica exige estudos do relevo, do solo, do clima e do uso da terra, ou seja, fatores naturais, sociais e suas inter-relações. Qualquer interferência neste equilíbrio altera a dinâmica dos componentes deste conjunto.

A fragilidade ambiental é uma proposta metodológica de análise espacial do ambiente. Conforme Ross (1994, p. 63), “[...] os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais.” Fierz (2008) define fragilidade como a disposição que o relevo, em seu estado de equilíbrio, seja alterado em virtude de fatores naturais e/ou sociais.

Segundo Fushimi (2016, p. 41), “[...] entende-se que a fragilidade se vincula à análise conjunta dos componentes naturais e nos procedimentos operacionais tem-se a elaboração de documentos cartográficos temáticos.” Uma forma de avaliar a fragilidade dos ambientes é baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977). Este conceito está relacionado com a interação dos fenômenos e pode-se ser aplicada ao planejamento territorial ambiental.

De acordo com Tricart (1977), o conceito de Ecodinâmica indica um modelo de avaliação integrado das unidades territoriais, com base no balanço pedogênese-

morfogênese, propiciando uma classificação que determina que os ambientes quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis e quando estão em desequilíbrio são instáveis.

Há também os meios morfodinâmicos intergrades (intermediários), que “[...] é um processo intermediário que mostra o balanço entre os processos de pedogênese e de morfogênese” (PROJETO BANCO DE DADOS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIO UNA, 2005). Nos meios intergrades é levado em conta o predomínio temporal da pedogênese ou da morfogênese.

Ross (1990), propôs uma metodologia de análise empírica na determinação da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, tendo como fundamento o conceito das Unidades Ecodinâmicas (TRICART, 1977). Ross (1990, 1994), sintetiza diferentes padrões de fragilidade, que podem ser utilizados como instrumentos ao planejamento ambiental e posteriormente a gestão.

Para isso, para as análises geomorfológicas em escalas médias e pequenas utiliza-se como base de informação os Padrões de Formas com a rugosidade topográfica ou os Índices de Dissecação do Relevo, expresso por meio da Matriz dos Índices de Dissecação (Quadro 1).

Quadro 1 – Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo					
Densidade de Drenagem ou Dimensão Interfluvial Média (Classes)	Muito Baixa (1) >3750 m	Baixa (2) 1750 a 3750 m	Média (3) 750 a 1750 m	Alta (4) 250 a 750 m	Muito Alta (5) <250 m
Graus de Entalhamento dos vales (Classes)	>15 mm	3 a 15mm	3 a 5 mm	1 a 3 mm	1 mm
Muito Fraco (1) (< de 20 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (>160 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1992).

Por outro lado, mas quando a análise é de maior detalhe utiliza-se as formas de vertentes e as Classes de Declividade (Tabela 1). Além dessas classes, existem outras propostas metodológicas com outros valores.

Tabela 1 – Classificação hierárquica da fragilidade relativo as classes de declividade

Classe de fragilidade	Índice de fragilidade	Classes de declividade (ROSS, 1994)	Classes de declividade (SANTOS; ROSS, 2012)	Classes de declividade (ROSS, 2012)
Muito Fraca	1	até 6%	até 3%	zero a 2% - planos e altos relevos, ou 1° (grau)
Fraca	2	6 † 12%	3 † 8%	3% a 15% ou 8°
Média	3	12 † 20%	8 † 13%	16% a 30% ou 17°
Forte	4	20 † 30%	13 † 20%	31% a 50% ou 25°
Muito Forte	5	e acima de 30%	e acima de 20%	50% ou acima de 25° 2% ou menos 1° - relevo das planícies alagadas

Fonte: Ross (1994); Santos e Ross (2012); Ross (2012).

Para a variável solo usa-se as partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais (ROSS, 1994, p. 67). Além disso, analisa-se fatores determinantes das características físicas e químicas do solo. Nessa etapa relativa aos solos, é importante “[...] distinguir com clareza as diferenças entre a fragilidade e a erodibilidade dos solos quando o escoamento é difuso ou quando é concentrado (ROSS, 1994, p. 68).

Nesse sentido, compilando informações publicadas pelo IAC por Marques, Bertoni e Barreto (1961), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em somatório com os trabalhos de Lombardi Neto e Bertoni (1975), dentre outros autores, juntamente com dados de trabalhos de campo, Ross (1994) propôs as classes de fragilidade dos solos, e Santos e Ross (2012), relacionaram os tipos de solo com o contexto urbano (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação da fragilidade dos tipos de solos

Classe de fragilidade	Índice de Fragilidade	Tipos de solos (ROSS, 1994)	Tipos de solos e urbanização (SANTOS; ROSS, 2012)
Muito Fraca	1	Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho-amarelo, textura argilosa.	Latossolos de estrutura argilosa e média/argilosa (conforme classes 1 e 2 da proposta original); Nitossolo, Latossolo vermelho-amarelo em áreas dotadas de infraestrutura urbana.
Fraca	2	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo, textura médio-argilosa.	Argissolos vermelho-amarelo com textura média/argilosa em áreas urbanas dotadas de boas condições de infraestrutura.
Média	3	Latossolo vermelho-amarelo, nitossolos, aluviossolos, neossolos, textura média e argilosa.	Argissolos de textura média/arenosa em áreas urbanas dotadas de boas condições de infraestrutura.
Forte	4	Cambissolos, textura médio-arenosa.	Argissolos vermelho-amarelos de textura média/arenosa; Neossolos Quartzarênicos em áreas com infraestrutura urbana.
Muito Forte	5	Neossolos com cascalho, litólicos e neossolos quartzarênicos.	Argissolos com cascalhos; Gleissolos; Neossolos flúvicos; e Neossolos Quartzarênicos.

Fonte: Ross (1994); Santos e Ross (2012).

Enquanto a análise da proteção dos solos pela cobertura vegetal passa pela construção da Carta de Uso da Terra e da Cobertura vegetal, e produtos cartográficos semelhantes, resultantes dos estudos de gabinete e de campo. Esse trabalho é fundamentado na interpretação de imagens de satélite, e em fotografias aéreas, dependendo da escala a ser trabalhada (ROSS, 1994).

Ross (1994), sugere o estabelecimento de uma hierarquia de graus de proteção dos solos pela cobertura vegetal. Além de tudo, nessa metodologia ainda relaciona a perda de solos por tipos de cultivos e estudo das práticas conservacionistas predominantes para cada tipo de uso do solo agrícola (Tabela 3).

Tabela 3 – Grau de proteção de superfície por tipos de coberturas

Grau de proteção	Índice de Fragilidade	Tipos de cobertura
Muito alta	1	Florestas/matias naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
Alta	2	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso).
Média	3	Mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo com cacau.
Baixa	4	Culturas de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucalipto com sub-bosque de nativas.
Muito baixa	5	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeado, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1994).

A partir do cruzamento dessas informações e dentre outras, é possível a obtenção de um mapa síntese que identifique pontos de diferentes níveis de fragilidade representativos. Na presente dissertação foi utilizado as curvaturas de superfície, a de declividade, o esboço de solos, as unidades de relevo, e o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

Para mais, outra forma de se trabalhar com essas variáveis é “[...] estabelecer uma classificação da fragilidade potencial e emergente a partir de uma associação de dígitos arábicos onde cada um dos números do conjunto numérico representa um determinado peso” (ROSS, 1994, p. 69).

Além disto, Santos e Ross (2012), aprimoraram essa proposta metodológica inicial de Ross com o intuito de realizar uma análise de fragilidade ambiental quanto a nível de urbanização (Tabela 4):

Tabela 4 – Fragilidade quanto ao nível de urbanização

Grau de Fragilidade	Índice de Fragilidade	Nível de Urbanização
Muito Baixa	1	Predomínio de condições naturais com um estrato vegetal bem desenvolvido e/ou em estágio avançado de regeneração que favorece a infiltração, minimizando o escoamento pluvial. Setores de média urbanização situados em áreas mais elevadas que apresentam baixa declividade e contam com medidas estruturais e não estruturais para controle de cheias, como caixas de sumidouro, canteiros permeáveis, obstáculos para redução da velocidade do escoamento, reservatórios para coleta e reuso de água de chuva.
Baixa	2	Área urbanizada com drenagem eficiente, baixa declividade, presença de ações para controle de cheias, infiltração e redução do escoamento nas vias de circulação, nos lotes e nas construções.
Média	3	Área urbanizada predominantemente impermeável com problemas de drenagem e constantes alagamentos e inundações. Ambientes com declividade praticamente nula precariamente incorporados à drenagem, susceptíveis a inundações sazonais, que podem ter constituído antigas planícies de inundação de corpos hídricos e lacustres afetados ou não por atividades antropogênicas.
Alta	4	Locais urbanizados e/ou semiurbanizados com precariedade nas construções e na infraestrutura para eventos pluviométricos de média/baixa intensidade. Áreas de inundação natural, como planícies lacustres, e setores mais abrigados das planícies fluviais e fluvio-marinhas.
Muito Alta	5	Áreas críticas que deveriam ser destinadas a manutenção de sua funcionalidade sistêmica original. Ausência de infraestrutura e total precariedade dos constructos humanos, fruto do uso e ocupação desordenados do solo. Ambientes naturalmente favoráveis à inundação, tais como corpos hídricos e planícies de inundação. Setores com grande declividade susceptíveis a movimentos de massa.

Fonte: Santos e Ross (2012).

Além disso, Ross e Fierz (2017), evidenciando a importância de enfatizar “[...] as áreas de planícies inundáveis como sendo áreas de fragilidade ambiental Muito Forte em função da instabilidade dos terrenos e ocorrência de inundações periódicas” (GOUVEIA; ROSS, 2019, p. 124).

Segundo França, Piuzana e Ross (2017, p. 2), “a metodologia para determinação da fragilidade ambiental com base na classe de declividade (ROSS, 1994), é a mais utilizada no meio científico”. Os trabalhos mais recentes adaptam essa metodologia afim de obterem resultados mais realísticos das áreas de estudo, como trabalhos recentes se pode citar: Amaral e Ross (2009), Massa e Ross (2012), Gayoso (2014), Miyazaki (2014), que além da fragilidade ambiental trabalha também com a vulnerabilidade social na análise do espaço geográfico, Schiavo *et al.*, (2016), Gouveia e Ross (2019), dentre outros estudos. Uma característica de novos trabalhos é incorporação de variáveis sociais na análise da fragilidade.

Segundo Miyazaki (2014, p. 91), no estudo de fragilidade ambiental [...] é

possível inserir as características socioeconômicas de um determinado grupo social, para averiguar de forma integrada se o ambiente analisado apresenta um determinado grau de vulnerabilidade, seja esta alta, média ou baixa.”

No mais, os projetos de fragilidade ambiental passam obrigatoriamente pelos levantamentos de campo e pelos estudos de laboratórios, a partir dos quais gera-se mapas temáticos dos aspectos naturais e sociais. Pois, “só conhecendo o espaço e percebendo as relações existentes entre os vários fenômenos no nível espacial se torna possível agir sobre esse espaço” (ROSA, 2011, p. 276).

Spörl (2001), afirma que por intermédio do mapeamento das fragilidades ambientais é possível identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de fragilidade, mapeando seus graus e permitindo ações tecnicamente mais adequadas a essas condições. Esse mapeamento conflui com os princípios da conservação e do desenvolvimento sustentável.

A fragilidade ambiental é uma proposta metodológica que tem muito a contribuir no estudo dos processos erosivos e mesmo que esses arcabouços técnicos tenham uma origem “antiga”, esses são muito utilizados no meio científico e estão em constante adaptações. Além disso, a presente dissertação traz o conceito de ambiente, que uma nova forma de analisar a natureza e a sociedade para o contexto desses estudos. Essa noção de fragilidade ambiental posta nesta dissertação é a concepção da fragilidade criada, visto que originalmente a natureza não é frágil, torna-se frágil devido a presença e do uso da sociedade.

Em síntese, os trabalhos sobre fragilidade são dados de extrema importância ao planejamento territorial e ambiental, que tenha como ponto central a preocupação com o ambiente, durante o processo de inovação tecnológica e desenvolvimento econômico.

Além do que a análise da fragilidade ambiental, conjuntamente com a EUPS constituem importantes ferramentas utilizada pelos órgãos públicos para o planejamento territorial estratégico, em escala regional ou local, servindo, sobretudo como base ao zoneamento, para isso é necessário a aplicação de técnicas de geoprocessamento, que são fundamentais para qualquer tipo de monitoramento ambiental.

3.9 Técnicas de Geoprocessamento

A tecnologia está presente nas nossas vidas, tanto no âmbito pessoal quanto profissional, no entanto, no início tais ferramentas eram restritas, especialmente por serem

de cunho militar, como era o caso da *internet*, das fotografias aéreas e das imagens de satélite e de radar. No momento histórico atual, todos esses recursos são mais acessíveis em comparação ao início do século XX, por conseguinte sendo possível afirmar que a tecnologia é importante para o mundo globalizado. Segundo Rosa (2011, p. 276), “no Brasil as tecnologias que permitem automatizar a análise espacial são conhecidas como: Geomática, Geoprocessamento, Sistema de Informação Geográfica e mais recentemente Geotecnologias”.

O geoprocessamento (Figura 8), de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006?a), é o “conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Conforme Rosa (2011, p. 277), “o termo Geoprocessamento é usado quase que exclusivamente no Brasil, provavelmente fruto de rivalidades de intelectuais entre as correntes europeias e americanas.” Segundo Silva (2011), o referencial do geoprocessamento é o contexto territorial e ambiental.

Figura 8 – Representação do universo do geoprocessamento



Fonte: Fator GIS *on-line* (2005).

Para Rosa (2011, p. 277), geotecnologias é o “conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. “Dessa forma, “são compostas por soluções de *hardware*, *software* e *peopleware* que juntas constituem-se em poderosos instrumentos como suporte a tomada de decisão.” (ROSA, 2011, p. 277). É indispensável a presença desses três elementos, os programas, a máquina e as pessoas para administrar tudo isso.

No mais, são exemplos de geotecnologias: a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o Sistema de informação geográfica (SIG), o Sistema de

Posicionamento Global (GPS), este foi fundamental nos trabalhos de campo, enquanto que as demais ferramentas foram utilizadas em gabinete. Para mais, essas geotecnologias podem auxiliar tanto nos estudos dos ambientes quanto no ensino da Geografia nas salas de aula.

No que se diz a respeito disso, “atualmente a maioria das aplicações das geotecnologias está ligada à gestão municipal, meio ambiente, planejamento estratégico de negócios, agronegócios e *utilities*” (ROSA, 2005, p. 88), principalmente o SIG.

O SIG é um sistema que processa dados gráficos e alfanuméricos com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies (INPE, 2006?a). Nesse sentido, o SIG como ferramenta ao planejamento ambiental, tem sido muito utilizado para fins de planejamento e manejo de recursos naturais a nível urbano, regional, estadual e nacional de órgãos governamentais (LIMA, 2001).

Outrossim, o SIG tem sido empregado na integração dos dados dos diferentes ambientes para diagnóstico amplo do processo de avaliação de impacto ambiental. Na presente dissertação, se emprega dois SIG’S, o *ArcGIS*[®] (*Environmental Systems Research Institute - ERSI*), *Quantum GIS*[®] (*QGis - QGIS DEVELOPMENT TEAM*). Em relação ao uso do SIG, é relevante evidenciar a importância desses *softwares* para o cruzamento e espacialização de informações, pois em épocas pretéritas esse processamento de dados era realizado em vagarosas horas e muitas vezes eram realizadas no papel.

Para além, nos trabalhos como este, de pesquisa ambiental, é essencial o uso de imagens de satélite, por isso vale a pena trazer também o conceito de sensoriamento remoto, sendo a tecnologia que permite a captura de imagens e dados de um alvo a distância, “[...] por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície” (FLORENZANO, 2007, p. 12).

A partir dos dados de sensores remotos é possível a elaboração de mapas, essa uma das formas mais antigas de comunicação e orientação. Pode-se dizer que o objetivo central dos mapas é representar e localizar áreas, objetos e fenômenos geográficos, esses elementos estão gradativamente mais sendo empregados em diversas áreas.

Os mapeamentos são ferramentas fundamentais para entender a relação natureza e sociedade, como também planejar e gerir o espaço geográfico. Além da função de completar um texto. Desse modo, os mapas e as representações cartográficas são instrumentos importantes para se entender os processos ambientais e até mesmo as

relações de poder, assim como exposto por Fushimi e Nunes (2016, p. 180):

Tendo em vista compreender e buscar alternativas para os atuais problemas ambientais, as representações cartográficas podem ser utilizadas como ferramentas na análise das dinâmicas das paisagens e no processo de tomada de decisões por especialistas e estudiosos, tanto no âmbito geográfico, como em outras ciências.

Relacionado com a presente dissertação, os fatores relevantes para a análise da fragilidade e da perda de solos foram espacializados em mapas. Nesse contexto, é por intermédio das técnicas de geoprocessamento que foi possível realizar os objetivos desta dissertação, que além de possibilitarem a investigação e a especificação do ambiente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. Além de tudo, foi possível a criação de um banco de dados cartográficos da área. Dito isso, passemos agora para aos procedimentos metodológicos pertinentes ao estudo.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, trabalhou-se com os procedimentos metodológicos que foram empregados para a elaboração de presente dissertação, desde o levantamento e análise de material bibliográfico, trabalhos de campo, até efetivamente a elaboração de materiais cartográficos em 1:70.000, essa escala foi escolhida com base em todos os procedimentos metodológicos descritos a seguir. Ressaltando que o critério de organização da fundamentação teórica e dos resultados se sucede do mais amplo para o mais específico.

4.1 Levantamento e Análise de Material Bibliográfico

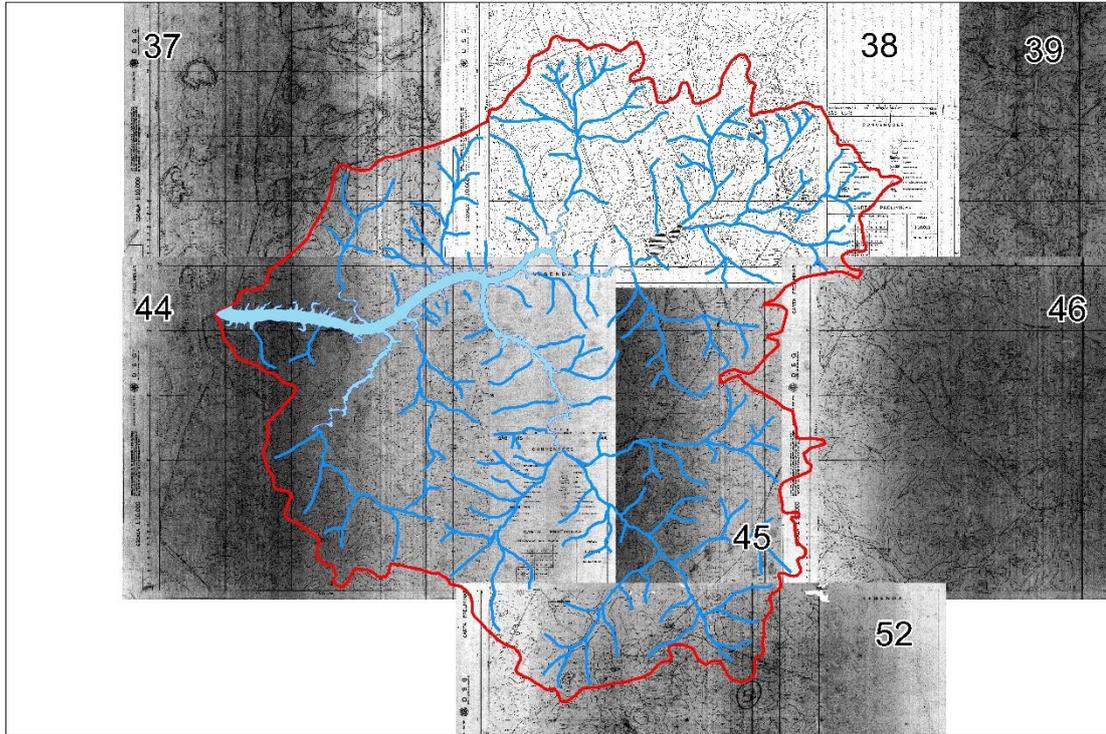
Os procedimentos metodológicos para a investigação do problema constaram de levantamento e análise de materiais relacionados com a temática, principalmente em acervos *on-line*, em razão da pandemia de Coronavírus (COVID-19). Nesse sentido, o material selecionado foi de suma importância para o desenvolvimento das fases da pesquisa e para comparação entre os resultados apresentados. Essa etapa, levantamento e análise de material bibliográfico, ocorreu durante todo o processo de construção da presente dissertação.

4.2 Elaboração do Material Cartográfico Geoambiental

A base cartográfica foi elaborada nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), *Quantum GIS*[®] (*QGIS - QGIS DEVELOPMENT TEAM*), versão 3.16.14 e 3.12, que é um *software* livre de código aberto. Além disso, utilizou-se o *ArcGIS*[®], versão 10.2.2 da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, licença EFL999703439, pertencente ao Grupo de Pesquisas em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP), da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

Para mais, essa etapa consistiu inicialmente na delimitação da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, definição da rede de drenagem e das nascentes, por meio das Cartas Planimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) (Figura 9), folhas 37, 38, 39, 44, 45, 46, 52, executadas em 1980. Essas cartas apresentam escala 1: 70.000. Essas cartas foram editadas e reunidas em forma de mosaico, facilitando assim, a leitura das cotas altimétricas, dos cursos d'água e dos limites da bacia.

Figura 9 – Cartas planimétricas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (1980), São Luís – MA



Fonte: DSG (1980).
Elaborado pela autora (2021).

Além disso, foram utilizadas os *shapefiles* (dados vetoriais) do IBGE, de 2014, 2015 e 2019, relativos à organização do território brasileiro e aspectos relevantes dos municípios da Ilha do Maranhão. Também foram utilizadas bases da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017), no que se refere os cursos d'água e da linha de costa da Ilha.

No quesito vias de acesso, empregou-se a base de dados do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), de 2017, trazendo destaque nos mapas para a Estrada de Ferros Carajás e a BR-135/MA, sendo esta rodovia o meio principal de entrada terrestre para a bacia do rio dos Cachorros e como plano de fundo usou-se a imagem de satélite *World Light Gray Canvas Base* (ESRI, 2020), que pertence ao *ArcGIS®* (ESRI).

Todos os mapas presentes neste trabalho foram elaborados com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), visto que desde 25 de fevereiro de 2015, o SIRGAS2000 é o único sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil, segundo a Resolução do IBGE Nº 1/2005, além disso, empregou-se a Projeção UTM, zona 23M, que é a faixa que compreende o a Ilha do Maranhão.

Os mapas estão em escala 1:70.000 e com 1000 pontos por polegada (dpi),

escala essa que foi padronizada a partir do estudo das imagens de satélite, das publicações sobre a bacia hidrográfica e dos trabalhos de campo na área. E com relação as cores foram utilizadas os manuais oficiais do IBGE, bem como publicações relativas ao mapeamento de ambientes.

4.2.1 Zoneamento

No mapeamento referente a esse tema, ocorreu o georreferenciamento dos mapas do Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural (INCID), sendo levados em consideração o mapa de Macrozoneamento Ambiental de 2006 (Plano Diretor de São Luís, Lei nº 4.669/2006), o mapa de Limite Urbano e Rural de 2010 (Plano Diretor de São Luís, Lei nº 4.669/2006), e o mapa de Zoneamento de 2014 (Lei nº 3.253/1992).

Além disso, os mapas das propostas de Zoneamento de 2015 e Macrozoneamento Urbano e Limite Urbano e Rural de São Luís, estes anos de 2019. Todos esses documentos são referentes a Prefeitura de São Luís.

Cabe mencionar que os referidos mapas foram georreferenciados usando a barra de ferramentas *Georeferencing* do *ArcGIS*[®] (*ESRI*), e apresentaram um residual menor que um (1). Nesse sentido, o residual é responsável pela precisão das coordenadas, representando a confiabilidade do resultado.

Posteriormente ao georreferenciamento, realizou-se a vetorização das zonas e dos pontos (comunidades), presentes nos mapas citados anteriormente, por meio da ferramenta *Editor* do *ArcGIS*[®] (*ESRI*), e a partir disso, sucedeu-se o cálculo de área dos polígonos através da *Calculate Geometry* do *ArcGIS*[®] (*ESRI*), com o objetivo de realizar a porcentagem e a elaboração de gráficos no programa *Microsoft Excel*[®], pertencente ao pacote *Office*[®](*Microsoft*), do ano de 2016.

Some-se a isso a parte de cálculo, que foi fundamental para a verificação de diminuição ou aumento das zonas mapeadas ao longo dos anos de 2006, 2010, 2014, 2015 e 2019 disponibilizado pelo INCID. Ademais, priorizou-se a utilização das cores e legendas originais desses mapas, assim como se manteve os setores sem informação (representados na cor branca). Esse procedimento referente as cores, legendas e cálculo dos polígonos objetivando a elaboração dos mapas e dos gráficos referentes ao zoneamento se sucedeu em todo o trabalho. Além disso, esse mapeamento foi realizado em escala 1:70.000.

4.2.2 Uso e Cobertura da Terra

O uso da terra pode ser considerado como “[...] uma série de operações desenvolvidas pelos homens, com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra” (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996 apud IBGE, 2006, p. 35). Para a construção desse material cartográfico, optou-se pela imagem de satélite *Sentinel-2* de 17 de agosto de 2020, que corresponde ao período seco da Ilha do Maranhão e sem nuvens.

Esse satélite é proveniente da Agência Espacial Europeia (ESA), as imagens dessa missão espacial são domínio público, bem como possuem uma resolução espacial de 10 metros. Para este trabalho, a combinação das bandas escolhida foi a *Red B4, Green B3 e Blue B2 (RGB)*, que corresponde a cor verdadeira, essa associação *RGB* retrata a imagem da mesma forma que os olhos humanos enxergam as cores, esse processo foi realizado por meio da ferramenta *Composite Bands* do *ArcGIS® (ESRI)*.

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi realizado com a classificação supervisionada, por intermédio da classificação por Máxima Verossimilhança (MAXVER), utilizando a barra de ferramentas *Image Classification* do *ArcGIS® (ESRI)*. Na classificação supervisionada, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006?b), “[...] o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe.”, para poder realizar o processamento. Ainda segundo o INPE (2006?b), “o MAXVER é o método de classificação que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.”

A partir desses processos, o uso e cobertura gerado conta com as seguintes categorias: Solo Exposto, Área Urbanizada, Vegetação de Manguezal e Vegetação Secundária, além dos Corpos d’Água. Salienta-se que pela resolução da imagem não foi possível identificar se existem áreas de cultivo e de pastagem. Durante o processamento dos dados, também foi usada a ferramenta *Fill e Generalize* do *ArcGIS® (ESRI)*, para remover imperfeições dos *pixels* desses usos.

Sobre as cores selecionadas para as classes, a área urbanizada é retratada pelo $R = 225$, $G = 168$, $B = 192$, assim como preconizada pelo IBGE (2013). No mais, a área de solo exposto é composta pelo $R = 244$, $G = 235$, $B = 175$, a formação secundária é representada pelo $R = 211$, $G = 255$ e $B = 190$, a formação de manguezal é simbolizada pelo $R = 115$, $G = 178$ e $B = 115$. Além disso, os corpos d’água são representados por $R = 190$, $G = 226$ e $B = 247$. Além do mais, foi utilizada a imagem de satélite *Maxar Technologies* de 2021

do *Google Earth Pro*[®] para conferência e comparação, sobretudo com relação as áreas de solo exposto da bacia.

Além das imagens desses satélites, a categoria vegetação de manguezal foi construída com base na vetorização referente a planície de maré de Silva (2012), e nas curvas de níveis de 5 metros das cartas planimétricas da DSG (1980), tal como pela imagem *Sentinel-2* supracitada e pelo *Editor* do *ArcGIS*[®] (*ESRI*).

Além das classes anteriormente citadas, usou-se a base de dados de assentamentos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros utilizadas do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2022).

As mineradoras presentes na área de estudo foram incluídas na classe de solo exposto, bem como foram identificadas também por meio de pontos (17), utilizando as imagens de satélite *Sentinel-2* (2020) e *Maxar Technologies* (2021). Essa vetorização foi realizada a partir de imagens de satélite, pelo *Editor* do *ArcGIS*[®] (*ESRI*), quanto *in loco* com a realização de trabalhos de campo.

Para além, os dados de processos minerários da bacia que estão disponíveis no Sistema de Informação Geográfica da Mineração (SIGMINE), da Agência Nacional de Mineração (ANM), não foram incluídos no mapa de uso e cobertura da terra, em razão de nem todos esses processos estarem em execução e caso fossem incluídos alterariam a veracidade do mapa. Nesse contexto, priorizou-se a elaboração de mapas próprios para esses dados (SIGMINE – ANM, 2021), como a espacialização das etapas, de quais minerais são extraídos e da utilização desses minerais.

O mapa de etapas é composto por: Autorização de Pesquisa a composição $R = 255$, $G = 115$, $B = 223$, para Concessão de Lavra, o $R = 190$, $G = 210$, $B = 255$, para o Direito de Requerer a Lavra, o $R = 163$, $G = 255$, $B = 115$, para Disponibilidade, o $R = 255$, $G = 255$, $B = 0$, para o Licenciamento, o $R = 137$, $G = 112$, $B = 68$. Além dessas fases, o Requerimento de Licenciamento foi representado pelo $R = 169$, $G = 0$ e $B = 230$ e o Requerimento de Pesquisa, pelo $R = 230$, $G = 152$, $B = 0$.

O mapa de minerais extraídos é composto por: Areia, $R = 255$, $G = 211$, $B = 127$, Cascalho, $R = 137$, $G = 90$, $B = 68$, Minério de Cobre, $R = 82$, $G = 217$, $B = 82$, Água Mineral, $R = 90$, $G = 242$, $B = 240$, Água Potável de Mesa, $R = 75$, $G = 101$, $B = 130$, e Dado Não Cadastrado, $R = 168$, $G = 0$, $B = 132$.

O mapa de utilização desses minerais é composto por: Construção Civil, $R = 245$, $G = 122$, $B = 122$, Engarrafamento, $R = 96$, $G = 84$, $B = 209$, Industrial, $R = 194$, $B = 158$, $G = 215$, e Dado Não Cadastrado, $R = 130$, $G = 130$, $B = 130$.

Além disso, nesses mapas os corpos d'água são representados por $R= 190$, $G= 226$ e $B= 247$. A fim de facilitar a identificação das áreas de mineração nos mapas, utilizou-se a imagem de satélite de fundo *Maxar Technologies* de 2020, resolução de 0.5 metros. Essa se a imagem se encontra disponível no *basemap* do *ArcGIS® (ERSI)*.

Por fim, esses mapeamentos foram realizados em escala 1:70.000, e vale destacar que além das ferramentas de geoprocessamento, os trabalhos de campo foram fundamentais para a construção desses mapas e a reambulação das informações mapeadas, pois permitiu a verificação dos usos, a coleta de pontos de interesses, assim como o registro fotográfico.

4.2.3 Geologia

O mapa de unidades litológicas foi elaborado com base no Zoneamento Econômico Ecológico do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão (ZEE - MA), do IMESC de 2019, que foi realizado originalmente em escala 1:250.000.

O recorte adaptado da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros em escala 1:70.000, apresenta as unidades litológicas: Grupo Barreiras, Grupo Itapecuru e Depósitos de Mangues. Quanto a coloração, o Grupo Barreiras é formado pelo $R = 245$, $G = 183$, $B = 20$, o Grupo Itapecuru é composto pelo $R = 162$, $G = 194$, $B = 167$, e os Depósitos de Mangues, é constituído por $R = 250$, $G = 248$ e $B = 184$, assim como estabelecido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2012). Além disso, os corpos d'água são representados por $R= 190$, $G= 226$ e $B= 247$.

4.2.4 Geomorfologia

O mapa de unidades de relevo foi elaborado com base em Silva (2012), que realizou o mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão em escala 1:60.000. Para essa dissertação, fez-se o recorte dessa base para obtenção das unidades de relevo para a área de estudo, em escala 1:70.000: Colinas Esparsas, Planície Fluvial, Planície de Maré, Tabuleiros com Topos Planos, e Drenagem, optou-se em não alterar a legenda da base original.

Quanto a coloração, Colinas Esparsas $R = 205$, $G = 170$, $B = 102$, Planície Fluvial $R = 158$, $G = 187$, $B = 215$, Planície de Maré $R = 92$, $G = 137$, $B = 68$, Tabuleiros com Topos Planos $R = 115$, $G = 38$, $B = 0$. A fim de esclarecimento, a drenagem utilizada

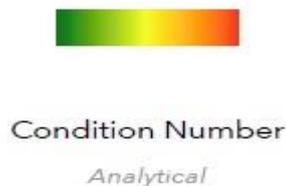
nesse mapa é oriunda também dessa base cartográfica de Silva (2012), e foi representada por R= 190, G= 226 e B= 247.

4.2.5 Hipsometria

No quesito hipsometria, com o auxílio da imagem *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, 02S45_ZN de 2008, do projeto TOPODATA do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR/INPE), resolução espacial de 30 metros, trabalhou-se com as questões relacionadas ao Modelo Digital do Terreno (MDT), em escala 1:70.000.

Essa imagem primeiramente passou por um tratamento para a correção de erros com base em técnicas que envolvem mosaico, conversão de *Float32* para *UInt16*, reprojeção e recorte. E levando em conta a altimetria da área de estudo, optou-se pela construção das classes hipsométricas: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50, 50 – 60, metros. Para mais, utilizou-se a rampa de cor denominada *Condition Number* (Figura 10), e os corpos d'água da bacia foram representados por R= 190, G= 226 e B= 247.

Figura 10 - - Rampa de cor, Hipsometria

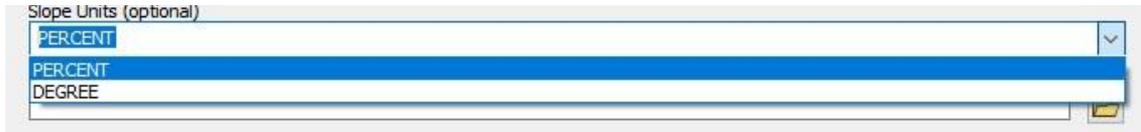


Fonte: ArcGIS® Colors (ERSI).

Além disso, foi fundamental a criação de um *hillshade*, esse recurso permite a iluminação hipotética de uma superfície de elevação, para determinação dos valores de iluminação para cada célula em um *raster* (representação matricial).

4.2.6 Declividade

Para a declividade, em escala 1:70.000, usou-se a imagem *SRTM* do projeto TOPODATA (DSR/INPE, 2008), devidamente tratada, e o *hillshade* criado anteriormente, bem como a ferramenta *slope*. Essa técnica permite que a declividade possa ser retratada em percentual (%), e/ou em graus (°), tal como pode ser notado na Figura 11.

Figura 11 – Opções da ferramenta *Slope*

Percent = percentual (%)

Degree = grau (°)

Fonte: ArcGIS® (ERSI).

Nesse sentido, preferiu-se que a declividade fosse expressa em percentual, assim como proposto pelos estudos de fragilidade ambiental, além disso, adaptou-se as classes formuladas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979) conforme as características da área de estudo, gerando as seguintes categorias (%): 0 - 3, 3 - 8, 8 - 20 e 20 - 45. Quanto a coloração, aplicou-se a rampa de cor que recebe o mesmo nome da ferramenta para a criação da declividade: *Slope* (Figura 12), e os corpos d'água da bacia foram representados por R= 190, G= 226 e B= 247.

Figura 12 – Rampa de cor, Declividade



Slope

Analytical

Fonte: ArcGIS® Colors (ERSI).

4.2.7 Curvaturas da Superfície

O mapa de curvatura, em escala 1:70.000, foi elaborado com base nas curvas de nível de 5 metros das cartas da DSG (1980), que foram usadas para criar um *Triangular irregular networks (TIN)*, que tem como objetivo representar a curvatura da superfície, podendo ser enquadrado como um Modelo Digital de Elevação (MDE).

A partir desse *TIN*, foi elaborado um *raster*, que posteriormente passou por um processo estático e de divisão, em que se gera a curvatura em dois tipos: plano e perfil. Baseado nesses processos, em um momento posterior, cria-se um arquivo vetorial com vertentes e formas do relevo. No mais, optou-se por se utilizar as formas de vertentes, estabelecendo três tipos de curvaturas da superfície: Côncavas, Convexas e Retilíneas.

Quanto a coloração, a forma convexa constituída por $R = 115$, $G = 178$, $B = 115$, a côncava, $R = 222$, $G = 158$, $B = 102$, a retilínea $R = 255$, $G = 255$, $B = 115$, e os corpos d'água da bacia foram representados por $R = 190$, $G = 226$ e $B = 247$.

4.2.8 Esboço das Principais Classes de Solos

O esboço das principais classes de solos, 1:70.000, foi elaborado com base em Fushimi (2020), apresentando as classes: Solos rasos a desenvolvidos - associação Argissolos, Solos Hidromórficos - associação Gleissolos Háplicos, Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênicos, Solos indiscriminados de Mangue - associação Gleissolos Tiomórficos e Solos desenvolvidos - associação Latossolos. Esse mapeamento foi realizado mediante a correlação do Macrozoneamento do Golfão Maranhense na escala 1:100.000 (MARANHÃO, 1998), do mapa geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala 1:60.000 (SILVA, 2012), do levantamento de pontos de observação e de coleta de amostras de solos, envolvendo descrições gerais, análises morfológicas e texturais na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (FERREIRA; FUSHIMI, 2019; FUSHIMI *et al.*, 2020), tal como trabalhos de campo.

Os pontos de observação e análise que compõem esse esboço, pertencem a Fushimi (2020), Ferreira (2020), e Fushimi, *et al* (2020), esses dados são de projetos e trabalhos que já foram realizados na área da bacia.

Quanto a coloração, seguiu-se as cores preconizadas pelo IBGE (2015), Latossolos é formado pelo $R = 212$, $G = 150$, $B = 22$, Argissolos é composto por $R = 255$, $G = 167$, $B = 127$, Gleissolos Háplicos é constituído por $R = 182$, $G = 216$, $B = 238$, Neossolos Quartzarênicos é representado por $R = 255$, $G = 254$, $B = 115$, Gleissolos Tiomórficos é retratado por $R = 108$, $G = 163$, $B = 205$. Além disso, os corpos d'água da bacia foram representados por $R = 190$, $G = 226$ e $B = 247$ e assim como supracitado, a drenagem utilizada nesse mapa é oriunda da base cartográfica de Silva (2012).

4.3 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo ocorreram em maio e novembro de 2021, e fevereiro de 2022, tanto no período de seca quanto chuvoso e foram essenciais para reconhecimento da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (Foto 1), seus cursos d'água e nascentes, tal como as suas características geoambientais, processos erosivos, e para se compreender como o território e o ambiente ocorrem por meio das tensões ambientais dos diferentes

grupos sociais da área de estudo. Além disso, o campo foi fundamental para a reambulação as informações mapeadas, como uso e cobertura da terra, fragilidade e perdas de solos.

Foto 1 – Trabalho de campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Para registro fotográfico e coleta de dados utilizou-se os seguintes aparelhos: um Sistema de Posicionamento Global (GPS), *Garmin eTrex10*[®], um drone *DJI Phantom 4*[®], uma câmera fotográfica *Canon*[®] *EOS Rebel T6*, um *tablet* e diversos *smartphones*. Além disso, foi utilizado um mapa impresso da área da bacia para conferência conjunta com o GPS das coordenadas que a bacia se encontra. Algumas dessas ferramentas podem ser observadas na Foto 2. Além do mais, em razão da pandemia de COVID-19, fez-se uso de máscaras e álcool em gel, assim como recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

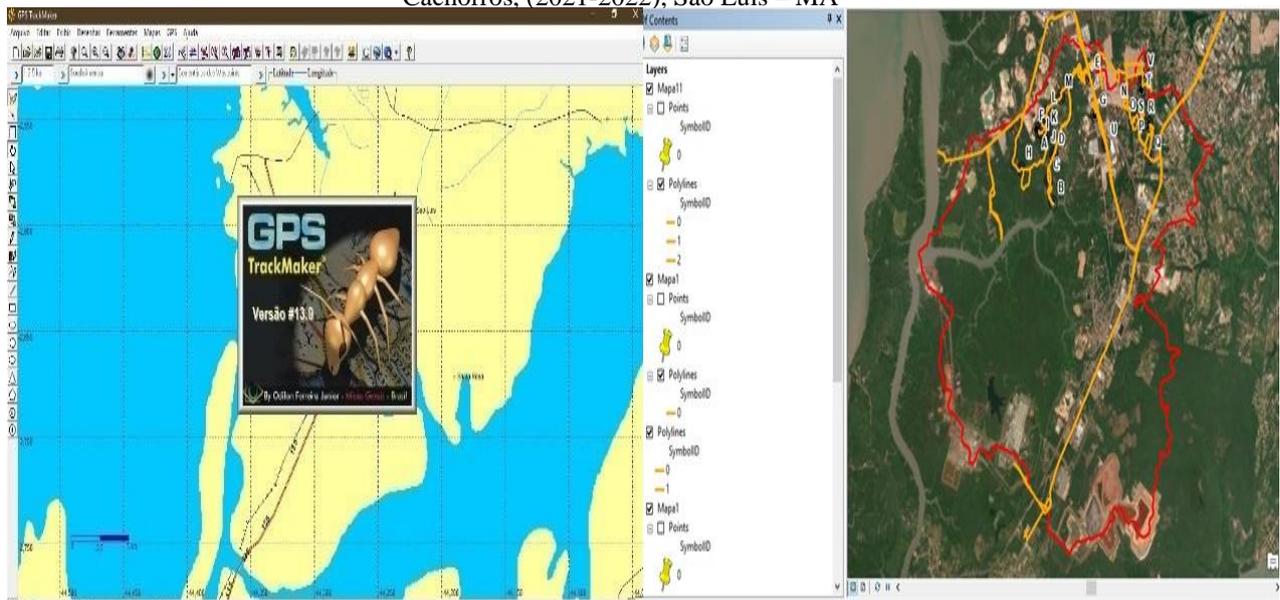
Foto 2 – Parte do equipamento utilizados em campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2021- 2022), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021-2022).

Para mais, os pontos (22) e rotas que foram coletados em campo por meio do GPS foram exportados por intermédio do programa *GPS TrackMaker*[®], versão livre, e em seguida, esses foram plotados no *ArcGIS*[®] 10.2.2 (*ESRI*) (Figura 13), com a conversão desses dados do Datum WGS84 para SIRGAS2000 através da ferramenta *Project* do *ArcGIS*[®] (*ESRI*).

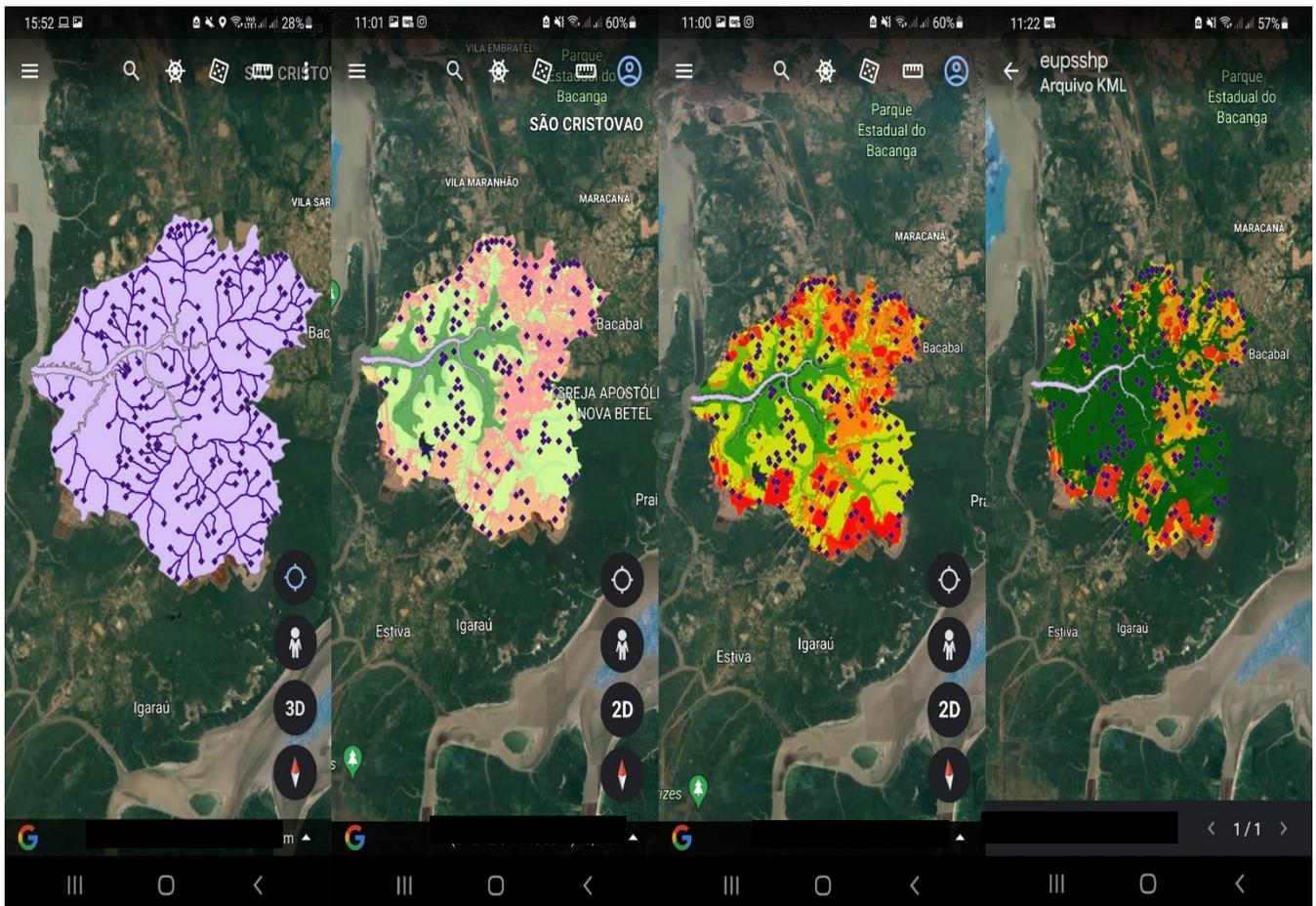
Figura 13 – Rotas e Pontos - *GPS TrackMaker*[®] *ArcGIS*[®], trabalho de campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021-2022), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021-2022).

Além disso, nos *smartphones* foram utilizados o *Google Maps*[®] e *Google Earth*[®], neste último programa foi possível manusear a *Keyhole Markup Language (kmz)* (Figura 14), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, dos seus cursos d'água e das suas nascentes, este recurso que foi fundamental para a reconhecimento efetivo da área de estudo.

Figura 14 – Base de dados da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA, no *Google Earth*[®] *mobile*



Fonte: Acervo da pesquisa (2021-2022).

No mais, em um desses celulares foi usado o aplicativo pago *Solocator*[®] (Figura 15), (*CIVIL CORP PTY LTD*), esse programa permite registrar fotos com coordenadas, altimetria, endereço, data, hora, dentre outros recursos que são muito úteis em trabalhos de campo.

Figura 15 – *Solocator*® em uso na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

No mais, é importante se evidenciar a dificuldade de se realizar trabalhos de campo em virtude da pandemia de COVID-19, além da própria localização da bacia, que é distante do centro da cidade de São Luís, bem como por ser uma área de tensão ambiental, por apresentar grupos sociais diversos que apresentam objetivos distintos, resultando em conflitos por espaços e recursos. Nesse sentido, as cartas topográficas, as fotografias aéreas e os trabalhos de campo foram importantes para obter informações de áreas com dificuldades de acesso.

4.4 Fragilidade Ambiental

Em razão das características geoambientais da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, principalmente por fazer parte de um ambiente costeiro, foi necessário serem adaptados os pesos e os valores referentes as metodologias de fragilidade ambiental preexistentes.

Dentre todas as características ambientais especializadas nos diversos produtos cartográficos elaborados na presente pesquisa, sendo estes apresentados nos resultados e discursões, optou-se pela escolha dos dados de curvaturas da superfície, declividade, solos, unidades de relevo e pelo uso e cobertura da terra para a construção da análise da fragilidade ambiental da bacia, em escala 1:70.000. No processo de organização dos pesos no Quadro 2, levou-se em conta sobretudo a influência desses elementos no comportamento de perdas de solos pela erosão laminar.

Quadro 2 – Pesos e graus de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

GRAUS DE FRAGILIDADE	FORMAS DE CURVATURAS PESO 10%	GRAUS DE FRAGILIDADE	CLASSES DE DECLIVIDADE (%) PESO 20%	GRAUS DE FRAGILIDADE	TIPO DE SOLOS PESO 30%	GRAUS DE FRAGILIDADE	UNIDADES DE RELEVO PESO 40%	GRAUS DE FRAGILIDADE	USO E COBERTURA DA TERRA PESO 50%
1 - Muito Fraca	X	1 - Muito Fraca	X	1 - Muito Fraca	Gleissolos Tiomórficos	1 - Muito Fraca	Planície de Maré	1 - Muito Fraca	Vegetação de Manguezal
2 - Fraca	X	2 - Fraca	0 - 3	2 - Fraca	Gleissolos Háplicos	2 - Fraca	Planície Fluvial	2 - Fraca	Vegetação Secundária
3 - Média	Convexa	3 - Média	3 - 8	3 - Média	Latossolos	3 - Média	Tabuleiros com Topos Planos	3 - Média	X
4 - Forte	Retilínea	4 - Forte	8 - 20	4 - Forte	Argissolos	4 - Forte	Colinas Esparsas	4 - Forte	Área Urbanizada
5 - Muito Forte	Côncava	5 - Muito Forte	20 - 45	5 - Muito Forte	Neossolos Quartzarênicos	5 - Muito Forte		5 - Muito Forte	Solo Exposto

Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Com relação a esses valores apresentados no Quadro 2, para as formas de curvaturas, a convexa apresenta peso de 3, sendo grau de fragilidade média, a retilínea apresenta peso 4, sendo grau de fragilidade forte, e por fim último, a côncava apresenta peso 5, grau de fragilidade muito forte. O mapa de curvatura no geral apresenta peso de 10% para a construção da fragilidade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

A justificativa para esses pesos se dá que a forma da curvatura da superfície possui relação direta com a dinâmica erosiva, por exemplo, nas curvaturas côncavas tem-se o predomínio da convergência do escoamento superficial, enquanto nas convexas prevalece a divergência dos fluxos. Nas curvaturas com longo comprimento de rampa, relacionado à declividade, a tendência é o incremento da velocidade do escoamento superficial conforme o aumento do caminho percorrido pela água.

Acerca das classes de declividade (%), de 0 a 3 está atribuído de peso 20%, representando um grau de fragilidade fraca, de 3 + 8%, está atribuído peso 3, representando um grau de fragilidade média. Além dessas, de 8 + 20%, está atribuído peso 4, representando um grau de fragilidade forte e por último, de 20 + 45%, está atribuído peso 5, representando um grau de fragilidade muito forte. Esse mapa no geral apresenta peso de 20% para a construção da fragilidade da área de estudo.

A justificativa para esses valores é que nas áreas com declividade elevadas a fragilidade ambiental aos processos erosivos laminares tende a ser maior, pois quanto maior foi o declive maior será a velocidade da água pela superfície.

Sobre os solos, esse mapa no geral apresenta peso de 30% para a elaboração da fragilidade da área, para suas classes estão impostas o peso 1 para os Gleissolos Tiomórficos, retratando um grau de fragilidade muito fraca, peso 2 para os Gleissolos Háplicos, retratando um grau de fragilidade fraca, peso 3 para os Latossolos, retratando um grau de fragilidade média, peso 4 para os Argissolos, retratando um grau de fragilidade forte, e peso 5 para os Neossolos Quartzarênicos, retratando um grau de fragilidade muito forte. Com relação a esses valores, eles foram definidos com base nas características físicas (areia, silte e argila) e químicas desses solos, sobretudo frente a perda de solos.

Com relação as unidades de relevo, esse mapa no geral apresenta peso de 40% para a construção da carta de fragilidade da bacia, para suas classes estão empregados o peso 1 para planície de maré, caracterizando um grau de fragilidade muito fraca, a planície fluvial, apresenta peso 2, caracterizando um grau de fragilidade fraca, os tabuleiros com topos planos apresentam peso 3, caracterizando um grau de fragilidade média, as colinas

esparsas, apresentam peso 4, representando um grau de fragilidade forte. Essas unidades de relevo se comportam de forma distintas em relação ao fluxo d'água, por conseguinte no que se diz a erosão laminar, nesse sentido, essas características foram usadas para pontuar a fragilidade de cada classe.

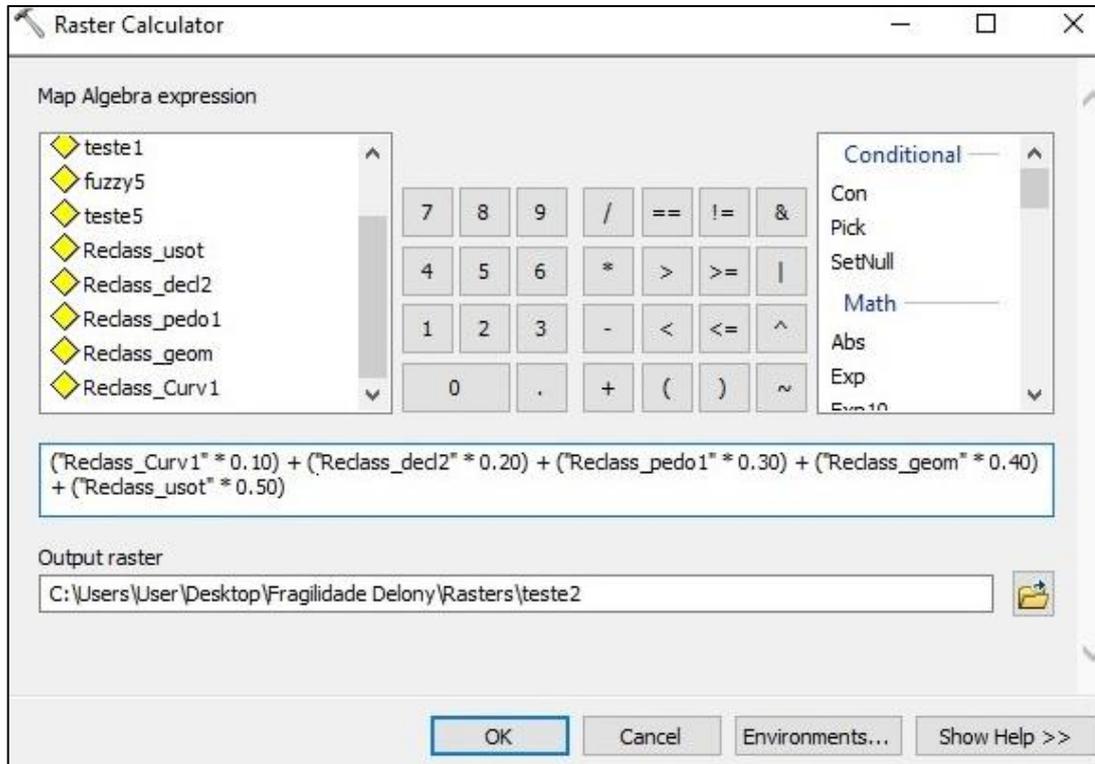
A respeito do uso e cobertura da terra, é o mapa com maior peso, tendo um peso de 50% para a elaboração do mapeamento e análise da fragilidade ambiental, pois a partir desse mapeamento é possível observar o aumento do processo de urbanização e industrialização da bacia. Para as classes do uso estão: vegetação de manguezal, com peso 1, representando um grau de fragilidade ambiental muito fraca, a vegetação secundária, com peso 2, representando um grau de fragilidade ambiental fraca, a área urbanizada, com peso 4, representando um grau de fragilidade ambiental forte e por fim, o solo exposto com peso 5, representando um grau de fragilidade muito forte.

Os pesos dessas classes se justificam em relação a cobertura do solo, por exemplo, nas áreas urbanas, embora a vegetação não esteja presente, existe cobertura, ainda que urbana, enquanto que as áreas de solo exposto estão totalmente sujeitas aos agentes intempéricos, apresentando uma maior fragilidade e tendência aos processos erosivos.

Para mais, no *software ArcGIS® (ESRI)*, foram utilizadas as ferramentas *Polygon To Raster* para realizar a conversão desses arquivos vetoriais, curvaturas da superfície, da declividade, dos solos, das unidades de relevo e do uso e cobertura da terra, em arquivo matricial e *Reclassify* para reclassificar os pesos desses dados.

Por último, foi utilizado a ferramenta *Raster Calculator*, que permitiu o cruzamento e a operação de todos esses pesos, empregando a fórmula baseada em soma e multiplicação dos valores: **(“Curvatura”*0.10) + (“Declividade”*0.20) + (“Pedologia”*0.30) + (“Geomorfologia”*0.40) + (“Uso e Cobertura da Terra”*0.50)**, (Figura 16). Durante o processamento dos dados, também foi usada a ferramenta *Fill e Generalize* do *ArcGIS® (ESRI)*, para remover imperfeições dos *pixels* dessas espacializações.

Figura 16 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

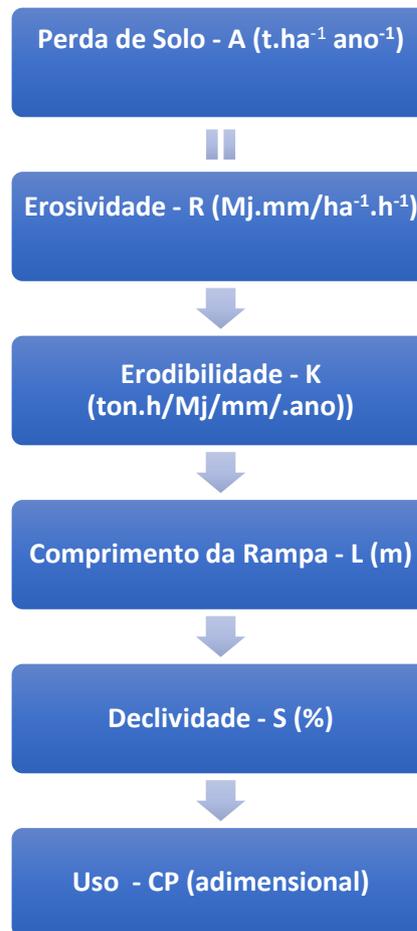
Sobre as cores selecionadas para as classes, Muito Fraca, $R= 56$ $G= 168$ $B=, 0$, Fraca, $R= 139$, $G= 209$, $B= 0$, Média, $R= 255$, $G= 255$, $B= 0$, Forte, $R= 255$, $G= 128$, $B= 0$, Muito Forte, $R= 255$, $G= 0$, $B= 0$. Além disso, os corpos d'água são representados por $R= 190$, $G= 226$ e $B= 247$.

Em síntese, todo peso foi determinado com base na relevância de cada classe, e em todos dados foram realizadas pesquisas acerca das características da bacia, levando em conta principalmente a perda de solos, e a partir do cruzamento de pesos foi possível mapear e analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, em escala 1:70.000, categorizando diferentes níveis de fragilidade, muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

4.5 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)

A determinação dos valores de perdas de solo provocadas pela erosão laminar foi realizada a partir da determinação e análise dos índices de cada componentes da Equação Universal da Perda de Solos (EUPS), (Figura 17), (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Figura 17 – Componentes da Equação Universal de Perdas de Solo

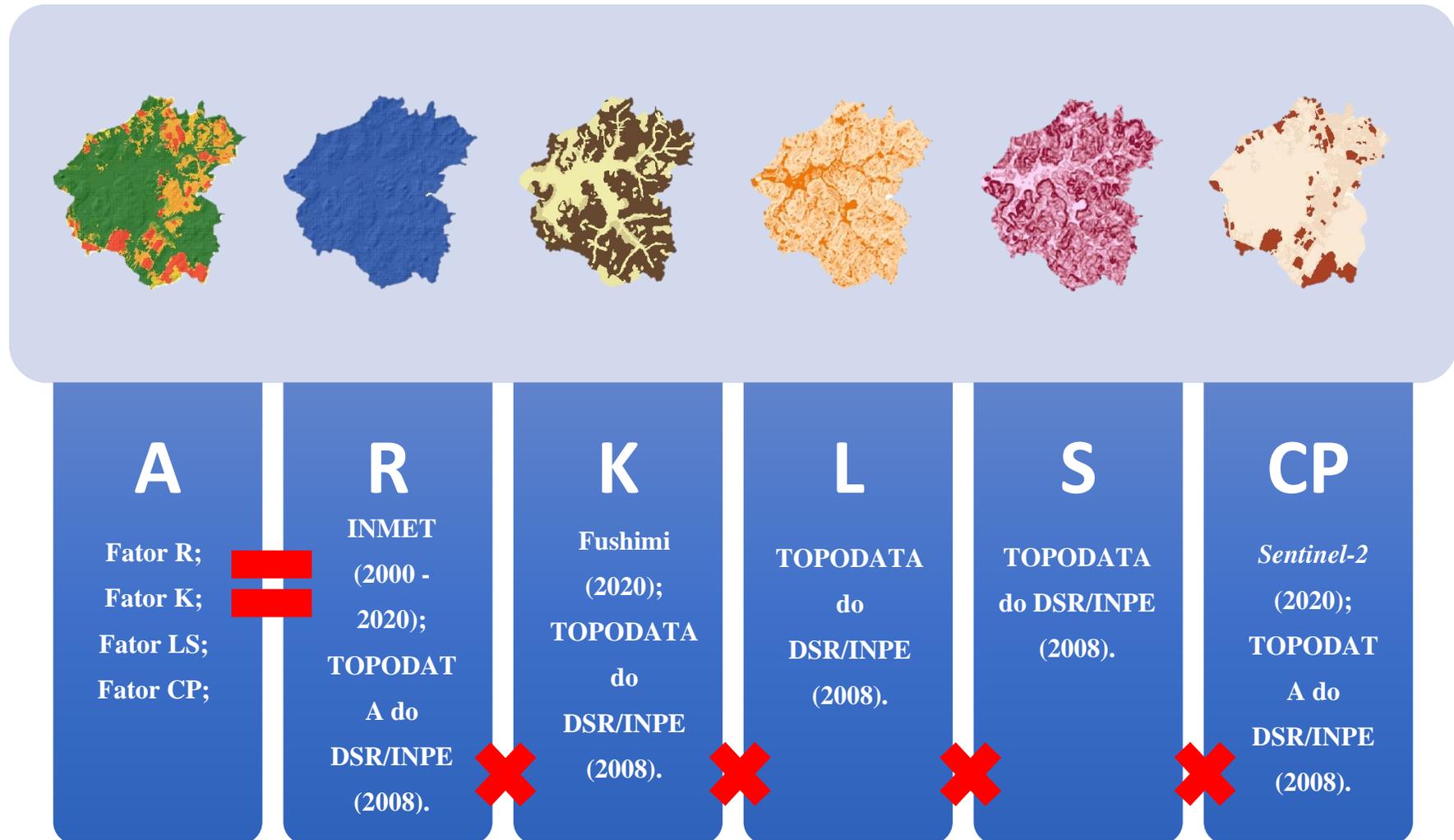


Elaborado pela autora (2021).

A Equação (Figura 18) é resultado da interação das condições de chuvas locais, características do solo, fator topográfico e cobertura da terra, essas variáveis e seus pesos foram determinados mediante levantamento bibliográfico, trabalhos de campo e por meio de materiais cartográficos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. Essa técnica precisou ser adaptada de acordo com as características da área de estudo e a análise e mapeamento dos fatores foram realizadas em escala 1:70.000.

Sucintamente, na EUPS, a erosividade (R) indica a capacidade da chuva em ocasionar erosão, a erodibilidade (K) diz a respeito das propriedades do solo frente a chuva e escoamento, o fator topográfico (LS), tem influência direta na intensidade da erosão laminar e o fator uso (CP) leva em consideração a cobertura da terra e sua relação com os processos erosivos.

Figura 18 – Esquema dos dados utilizados para a estimativa da Equação Universal de Perdas de Solo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Elaborado pela autora (2022).

Para erosividade estimada (R) foi aplicada a fórmula (Figura 19) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) apud Bertoni e Lombardi Neto (2005):

Figura 19 – Fórmula para a elaboração da média mensal do índice de erosividade (fator EI), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

$$EI = 67,355 * \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,85}$$

EI = média mensal do índice de erosividade (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹);
 p = média do total mensal de precipitação (mm);
 P = média do total anual de precipitação (mm).

Fonte: *OpenGis*, 2021.

Para isso, foi utilizado os dados da série temporal dos dados climatológicos do período de 2000 a 2020 (Tabela 5), de São Luís, do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Esses dados são da estação meteorológica que está localizada está localizada na Reserva do Itapiracó, São Luís, situada a cerca de 16 km da bacia do rio dos Cachorros.

No mais, a organização desses dados foi realizada no *Microsoft Excel*[®], pertencente ao pacote *Office*[®](*Microsoft*), do ano de 2016, no qual foi realizado também a aplicação da fórmula supracitada gerando os resultados que serão posteriormente apresentados nos Resultados e Discussões (Capítulo 5).

Tabela 5 – Série temporal dos dados climatológicos do período de 2000 a 2020, (mm), São Luís - MA

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MÉDIA
JAN	267,10	336,20	345,60	359,10	445,70	33,10	189,90	16,30	124,40	375,80	108,20	490,30	102,40	60,00	149,60	30,20	204,50	380,00	253,00	327,90	556,70	245,52
FEV	392,10	445,40	83,40	491,10	485,40	230,80	277,50	545,10	413,50	367,20	121,50	457,40	238,10	279,40	251,00	90,70	140,80	355,40	531,00	521,60	435,00	340,64
MAR	606,00	370,70	314,10	570,20	388,00	350,40	369,20	457,40	584,50	565,40	316,90	430,90	331,70	319,10	161,00	425,90	362,10	442,80	251,40	818,20	657,80	433,03
ABR	609,60	590,10	489,30	428,80	452,90	371,40	537,30	348,60	607,00	767,10	393,70	621,70	249,50	267,80	244,30	366,50	327,40	362,10	478,20	433,70	538,10	451,67
MAI	422,20	201,80	295,40	207,70	183,50	219,60	536,10	286,10	314,20	467,70	377,50	310,80	86,40	186,30	760,70	399,70	264,90	329,90	374,20	226,70	0,00	307,21
JUN	146,10	327,20	237,00	148,00	213,10	256,50	261,90	61,40	380,00	207,60	218,30	166,80	50,80	203,40	185,50	106,70	133,40	120,60	106,30	218,30	136,30	185,01
JUL	202,10	150,20	42,30	64,60	233,00	166,40	63,20	136,30	104,90	71,80	105,20	128,00	60,50	203,70	44,30	75,90	52,10	201,40	75,40	107,40	54,50	111,58
AGO	63,90	0,50	4,60	34,40	83,90	12,80	67,00	0,20	51,40	12,30	7,00	38,70	11,20	15,00	3,80	0,00	13,40	4,80	27,20	3,40	11,90	22,26
SET	12,60	7,40	0,00	5,90	1,50	0,00	2,30	2,20	0,40	0,00	0,40	0,00	0,20	4,40	0,50	0,00	1,80	0,00	11,60	4,90	0,00	2,67
OUT	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00	1,00	0,40	0,00	0,00	61,60	0,00	0,80	2,20	0,00	0,00	1,20	4,20	2,10	0,00	3,52
NOV	0,20	6,10	29,30	4,70	3,20	4,00	9,30	2,40	0,60	2,60	16,20	6,50	1,60	13,80	1,80	0,30	0,00	0,60	8,50	16,00	0,00	6,08
DEZ	43,30	44,00	47,40	55,80	6,60	158,10	40,50	42,00	18,50	10,30	90,70	0,60	0,80	40,50	29,20	11,30	42,90	63,20	209,80	72,80	46,90	51,20
																						180,03

Fonte: INMET (2020).
Elaborado pela autora (2021).

Posteriormente, os resultados produzidos a partir da aplicação da média mensal do índice de erosividade (fator EI) foram adicionados na tabela de atributos do QGIS® (*QGIS DEVELOPMENT TEAM*) e passaram por uma análise espacial por meio da Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW), que “[...] garante que os valores estimados estão entre o máximo e o mínimo dos valores amostrados” (COSTA, 2015, p.14), procedimento realizado por meio da ferramenta Interpolação IDW do QGIS® (*QGIS DEVELOPMENT TEAM*). Além desses dados, usou-se o MDE da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. Este originado a partir da imagem *SRTM*, 02S45_ZN de 2008, do projeto TOPODATA do DSR/INPE, e como resultado foi gerado o produto R, da Equação Universal da Perda de Solos.

Com relação ao fator erodibilidade (K), utilizando o esboço das principais classes de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros de Fushimi (2020), e para a determinação dos pesos (Quadro 3) dessas classes usou-se de autores que já haviam analisados tais solos, como Guimarães *et al.* (2011), Morais e Sales (2017), Caldas *et al.* (2019), dentre outros, visto que segundo Zapparoli e Cremon (2010, p. 5), “medidas experimentais do valor de K conforme normas estabelecidas na metodologia original da EUPS necessitam de muitos anos de experimentação.”.

Quadro 3 – Erodibilidade estimada (K), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Erodibilidade estimada - Fator K (ton.h/Mj/mm/.ano)	
Solos indiscriminados de mangue - associação Gleissolos Tiomórficos	0,001
Solos hidromórficos - associação Gleissolos Hápicos	
Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênicos	0,487
Solos rasos a desenvolvidos - associação Argissolos	0,0592
Solos desenvolvidos - associação Latosolos	0,015

Fonte: Guimarães *et al.* (2011), Morais e Sales (2017) e Caldas *et al.* (2019).

Elaborado pela autora (2021).

No momento posterior, esses pesos foram adicionados na tabela de atributos do QGIS® (*QGIS Development Team*) e foram convertidos em formato *raster*, por meio da ferramenta Converter Vetor para *Raster*. Além disso, utilizou-se do MDE da área de estudo, e como resultado foi gerado o produto da erodibilidade estimada (K), da EUPS.

Para o fator comprimento de rampa (L), foi necessário gerar variáveis intermediárias, Beta, m, direção e acumulação de fluxo, dentre outros, para isso foi aplicado as fórmulas (Figura 20):

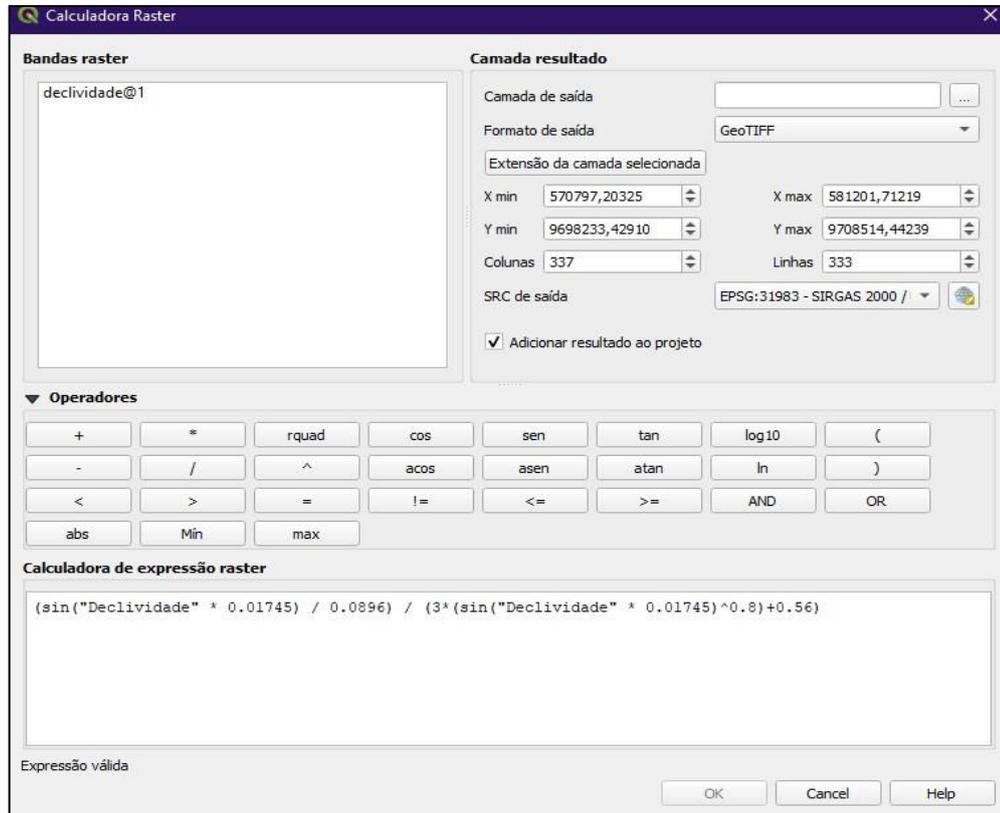
Figura 20 – Fórmula para a elaboração do comprimento de rampa (fator L), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

McCool et al. (1987;1989)	Foster et al. (1977)	Desmet e Govers, (1996)
$\beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{(3\text{sen}\theta^{0,8} + 0,56)}$	$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)}$	$L_{i,j} = \frac{\left((A_{i,j} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j})^{m+1} \right)}{X_{i,j}^m * D^{m+2} * 22,13^m}$
<p>$L_{i,j}$ = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j); $A_{i,j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m²) [flow accumulation]; D = tamanho da grade de células (m) [pixel size]; $X_{i,j}$ = valor da direção do fluxo; m = coeficiente dependente da declividade; β = quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos;</p>		

Fonte: *OpenGis*, 2021.

Para isso, inicialmente foi gerado a declividade, por meio da ferramenta Declive do QGIS® (QGIS DEVELOPMENT TEAM), e logo em seguida essa declividade foi inserida na Calculadora *Raster*, para gerar a variável Beta com a seguinte expressão: **Beta** = $(\sin(\text{"Declividade"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * (\sin(\text{"Declividade"} * 0.01745)^{0.8}) + 0.56)$, (Figura 21).

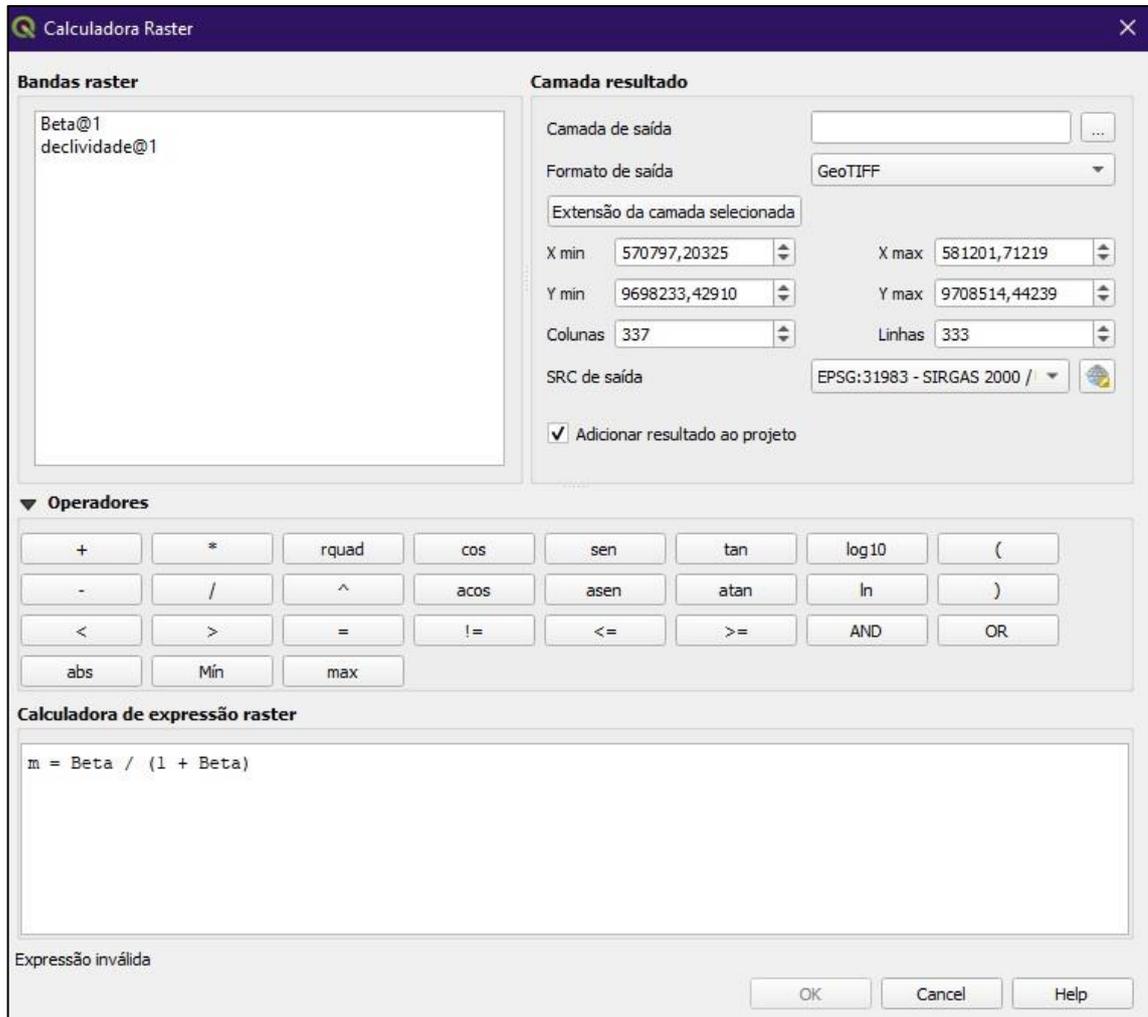
Figura 21 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da variável Beta da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

O próximo passo foi gerar a variável *m* por meio da na Calculadora *Raster do QGIS*[®] (QGIS DEVELOPMENT TEAM), com a seguinte expressão: $m = \text{Beta} / (1 + \text{Beta})$, (Figura 22).

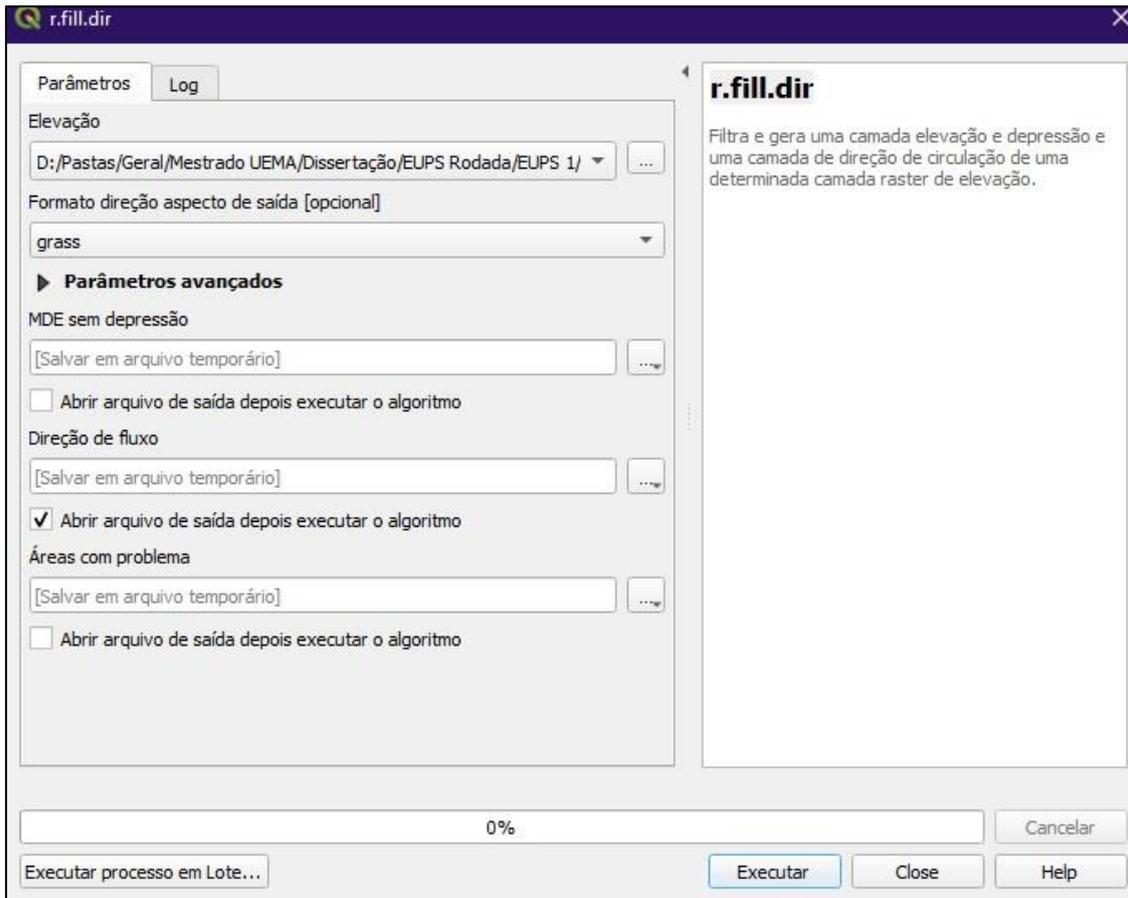
Figura 22 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da variável m da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Além dessas variáveis, foi também calculado a direção e acumulação do fluxo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, a direção de fluxo foi calculada por meio da ferramenta *r.fill.dir* (Figura 23), do QGIS® (QGIS DEVELOPMENT TEAM), utilizando o MDE da área de estudo.

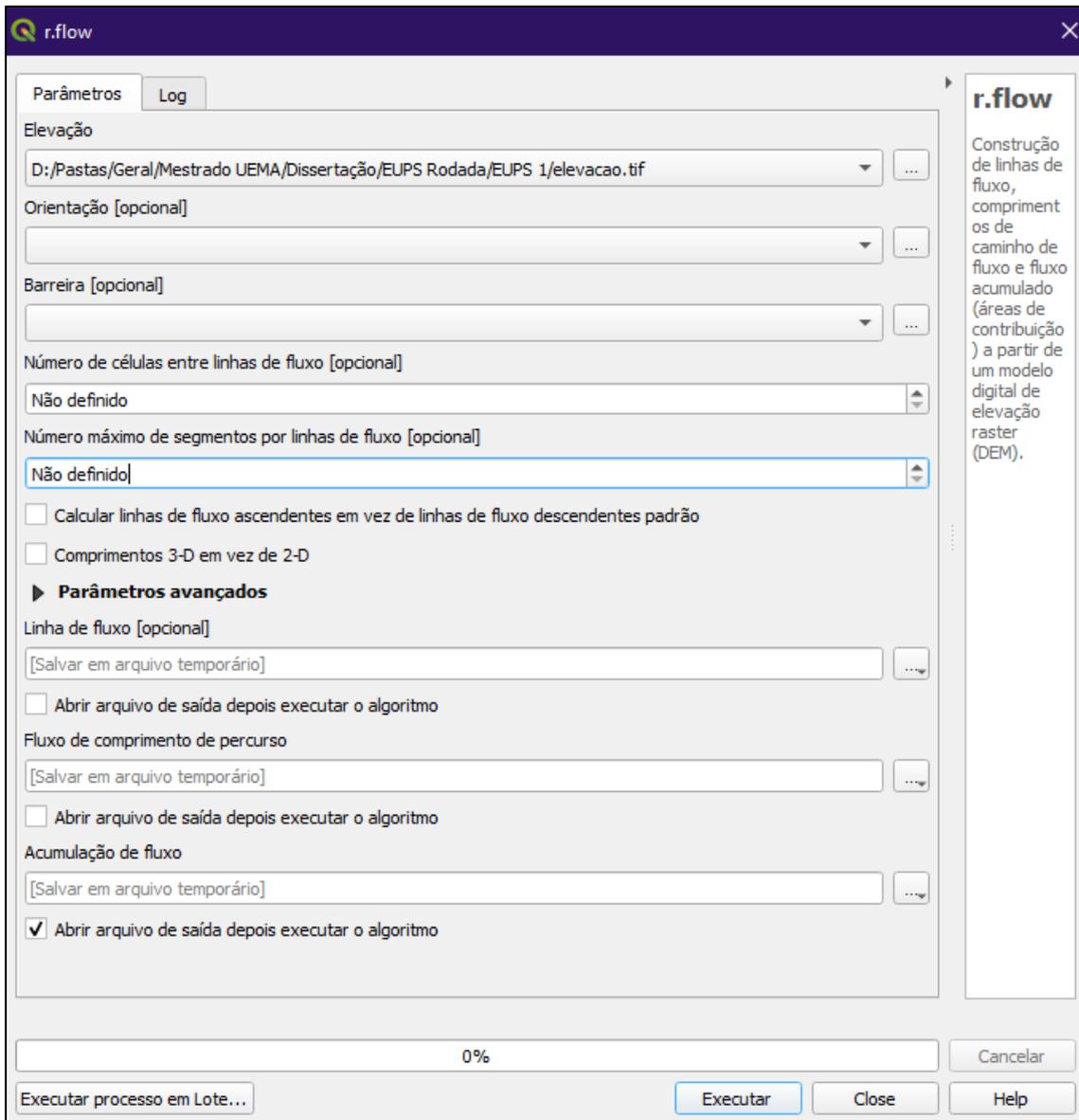
Figura 23 – Ferramenta de direção de fluxo



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Para mais, a acumulação de fluxo foi calculada por meio da ferramenta *r.flow* (Figura 24), do QGIS® (QGIS DEVELOPMENT TEAM), utilizando o MDE da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

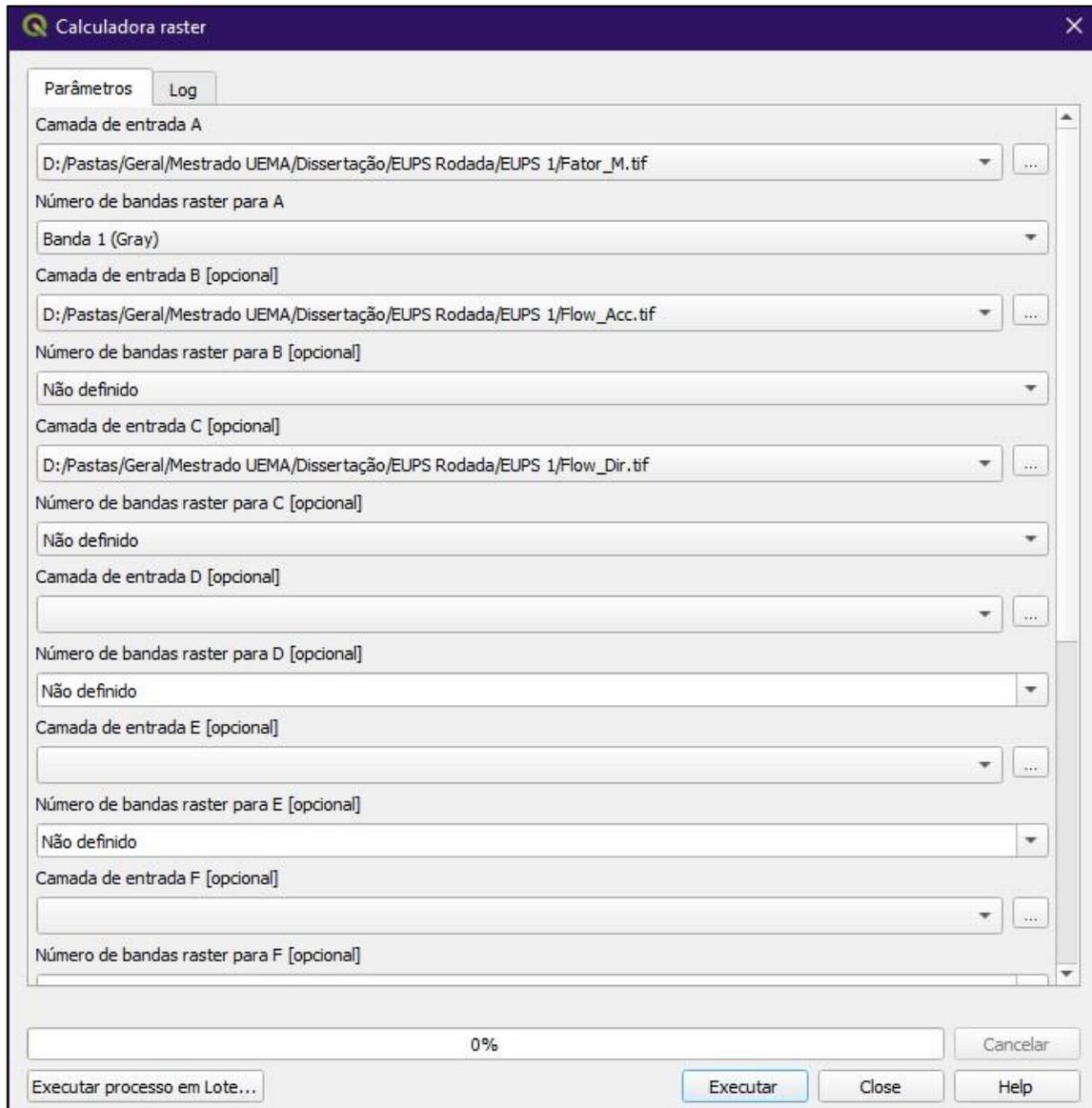
Figura 24 – Ferramenta de acumulação de fluxo



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Essas variáveis, m , direção de fluxo e acumulação de fluxo, foram processadas pela ferramenta Calculadora Raster GDAL, do QGIS® (QGIS DEVELOPMENT TEAM), por meio da expressão: $L = (\text{power}((\text{Acumulação de Fluxo} + 900), (\text{Variável } m + 1)) - \text{power}(\text{Acumulação de Fluxo}, (\text{Variável } m + 1))) / (\text{power}(\text{Direção de Fluxo}, \text{Variável } m) * \text{power}(30, (\text{Variável } m + 2)) * \text{power}(22.13, \text{Variável } m))$, (Figura 25), gerando o comprimento de rampa (fator L), da Equação Universal de Perdas de Solos.

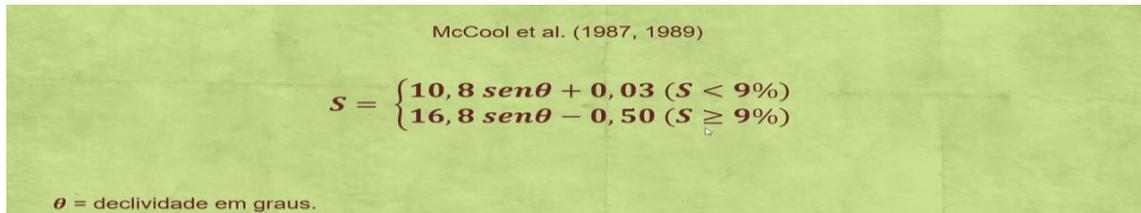
Figura 25 – Fórmula e ferramenta para a elaboração do comprimento de rampa (fator L), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Para mais, para o fator declividade das vertentes (S), foi utilizado a fórmula a seguir, (Figura 26):

Figura 26 – Fórmula para a elaboração da declividade das vertentes (fator S), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



McCool et al. (1987, 1989)

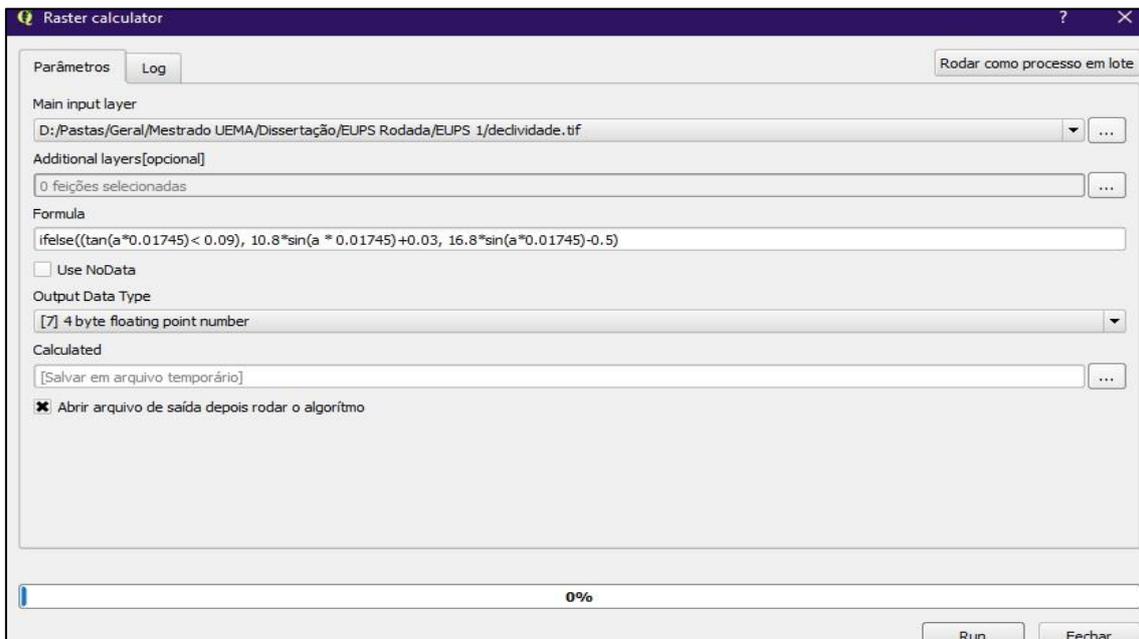
$$S = \begin{cases} 10,8 \operatorname{sen}\theta + 0,03 & (S < 9\%) \\ 16,8 \operatorname{sen}\theta - 0,50 & (S \geq 9\%) \end{cases}$$

θ = declividade em graus.

Fonte: *OpenGis*, 2021.

Para realizar essa operação, utilizou-se da ferramenta *Raster Calculator SAGA do QGIS® (QGIS DEVELOPMENT TEAM)* e do *raster* de declividade elaborado anteriormente, para gerar a declividade das vertentes (fator S), por meio da fórmula: **ifelse((tan(Declividade *0.01745)< 0.09), 10.8*sin(Declividade * 0.01745)+0.03, 16.8*sin(Declividade*0.01745)-0.5)**, (Figura 27).

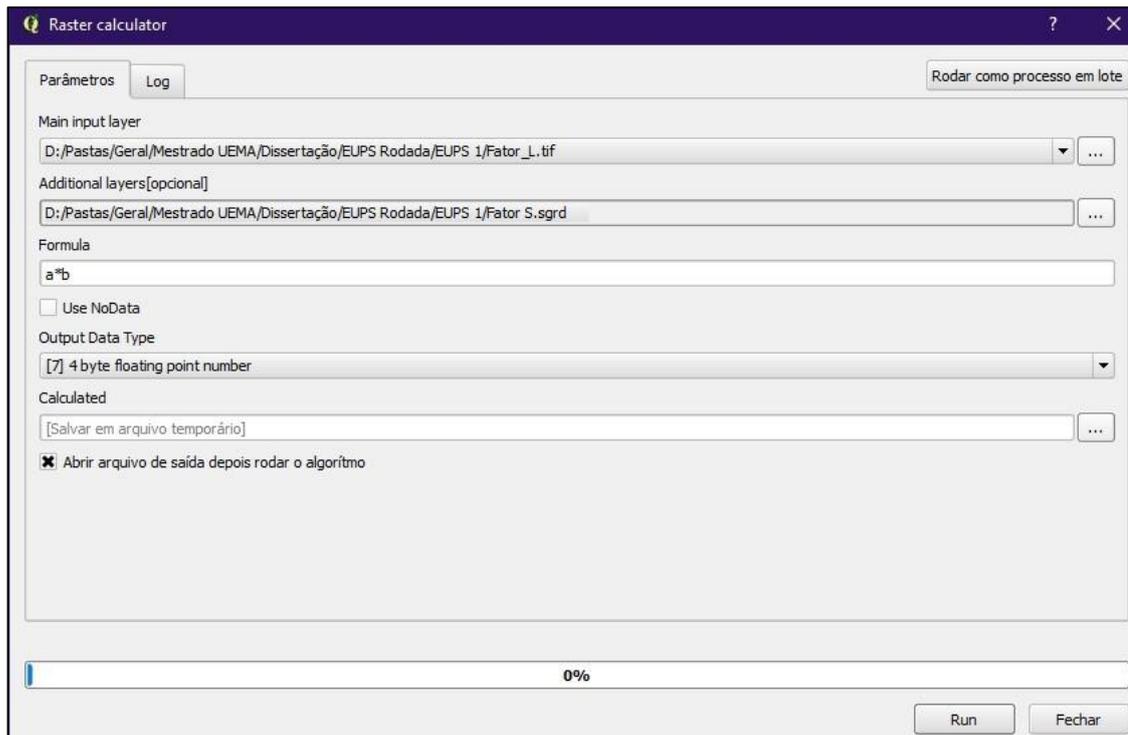
Figura 27 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da declividade das vertentes (fator S), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

No mais, para gerar o fator topográfico (LS), foi aplicado a fórmula L.S aos produtos anteriormente elaborados, e utilizou-se da ferramenta *Raster Calculator SAGA do QGIS*[®] (Figura 28).

Figura 28 – Fórmula e ferramenta para a elaboração do fator topográfico (LS), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Sobre o fator uso e manejo e práticas conservacionistas (CP), como a presente dissertação trabalha como conceito de ambiente, foi optado por se usar o uso e cobertura da terra, pois leva em consideração a função socioeconômica dos recursos. E como o objetivo do estudo é a erosão da área se opta por analisar as essas variáveis juntas, pois o propósito não são os sistemas conservacionistas, mas sim como esse uso e cobertura da terra irá relacionar com as perdas de solos, sendo assim foi necessário fazer essa adaptação, dessa forma, as práticas conservacionistas foram incluídas nas formações vegetais.

Para isso, utilizou-se dos dados do uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros gerados pela imagem *Sentinel-2* (2020), e para a determinação dos pesos (Quadro 4), dessas classes usou-se de autores que já haviam aplicados a Equação,

como Guimarães *et al.* (2011), Barbosa *et al.* (2015), Pasquatto e Tomazoni (2016), Carneiro (2019), dentre outros autores.

Quadro 4 – Fator uso e cobertura da terra/práticas conservacionistas (fator CP), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Uso e cobertura da terra/práticas conservacionistas- Fator CP (adimensional)	
Formação de Manguezal	0
Formação Secundária	0,00040
Área Urbanizada	0,06880
Solo Exposto	1

Fonte: Guimarães *et al.* (2011), Barbosa *et al.* (2015), Pasquatto e Tomazoni (2016), Carneiro (2019).

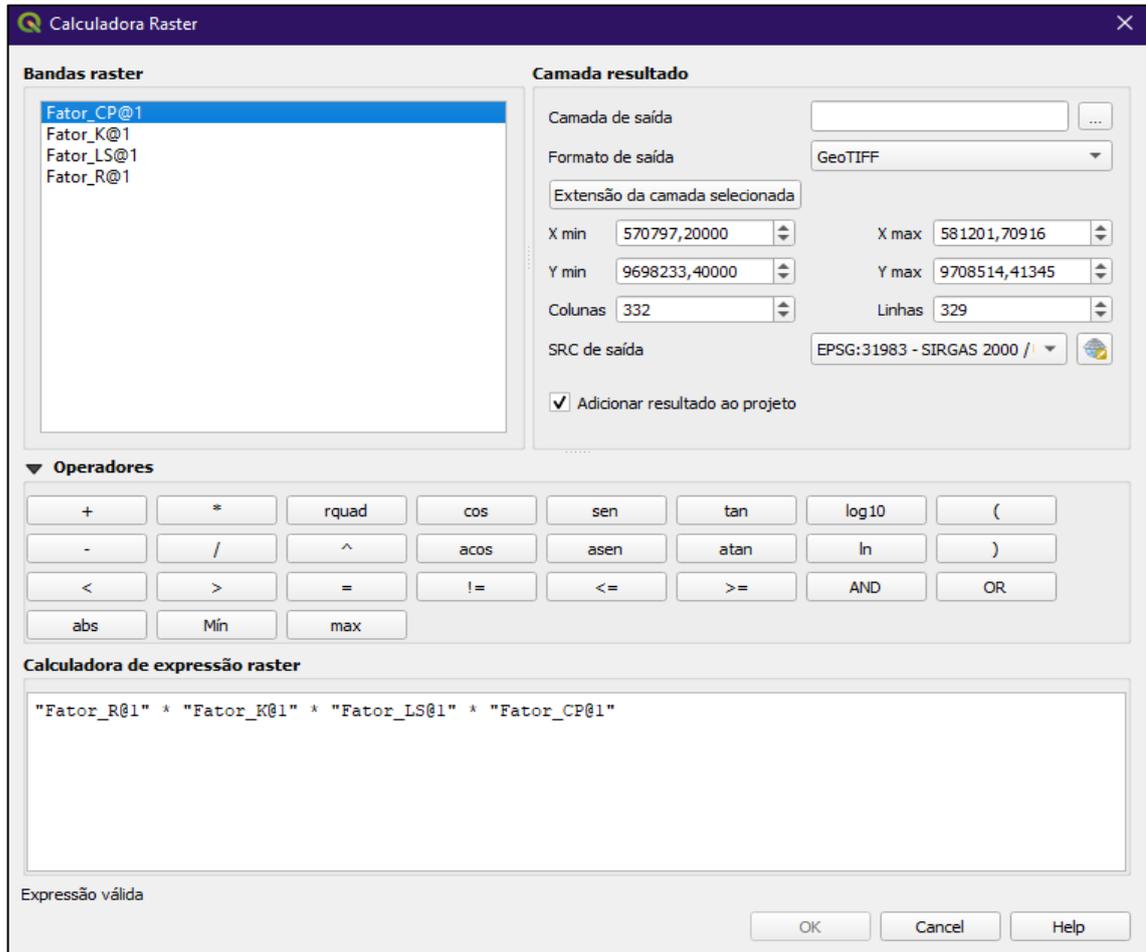
Elaborado pela autora (2021).

Segundamente, esses pesos foram adicionados na tabela de atributos do QGIS® (*QGIS Development Team*) e foram “rasterizados”, por meio da ferramenta Converter Vetor para Raster. Além disso, utilizou-se do MDE da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, originado a partir da imagem *SRTM*, 02S45_ZN de 2008, do projeto TOPODATA do DSR/INPE, e como resultado foi gerado o produto uso e cobertura da terra (fator CP), da EUPS.

Assim sendo, com esses fatores prontos, foi possível gerar as perdas de solos estimadas (fator A), através da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), (Figura

29), que é a multiplicação de todos esses elementos, para isso usou-se a ferramenta Calculadora Raster do QGIS® (QGIS DEVELOPMENT TEAM).

Figura 29 – Fórmula e ferramenta para a elaboração da EUPS da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Com base nessas etapas e processamentos foi gerado o produto de perdas de solos estimadas (A), apresentando as características expressas na Tabela 6, de acordo com as classes da FAO (1967) apud Guimarães *et al.* (2011). No mais, nessa espacialização a coloração dos corpos d'água são retratadas por R= 190, G= 226 e B= 247.

Além disso, durante o processamento desses dados, também foi usada a ferramenta *Fill* e *Generalize* do ArcGIS® (ESRI), para remover imperfeições dos *pixels* dessas espacializações.

Tabela 6 – Classes das perdas de solos estimadas (fator A), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Classes	Perdas de solos (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Legenda	RGB
1	0 - 1	Nenhuma ou ligeira	R= 0 G= 97 B= 0
2	1 - 3	Nenhuma ou ligeira	R= 73 G= 138 B= 0
3	3 - 5	Nenhuma ou ligeira	R= 139 G= 181 B= 0
4	5 - 10	Nenhuma ou ligeira	R= 214 G= 230 B= 0
5	10 - 20	Moderada	R= 255 G= 229 B= 0
6	20 - 50	Moderada	R= 255 G= 166 B= 0
7	50 - 200	Alta	R= 255 G= 111 B= 0
8	> 200	Muito alta	R= 255 G= 34 B= 0

Fonte: FAO (1967) apud Guimarães *et al.* (2011).

Elaborado pela autora (2021).

Além de tudo, a fim de complementar a análise do ambiente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros foi identificado e georreferenciado 32 pontos com erosão: Laminar e Linear (6), Laminar (2), e Linear (24), dados esses obtidos em trabalhos de campo e por imagens de satélites, anteriormente citadas. Vale ressaltar, que a erosão laminar por ser considerada “oculta” foi de difícil identificação.

Em suma, a construção e análise da fragilidade ambiental e de perdas de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros passaram por diversas etapas de elaboração e adaptações, por conseguinte foram gerados diversos produtos, estes que podem ser vistos como formas de interpretação do ambiente dessa área, que visam sobretudo contribuir com o poder público municipal para um planejamento ambiental adequado. Dito isso, passemos agora para aos resultados e discussões pertinentes ao estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, além da presente dissertação estão sendo desenvolvidos os trabalhos: Cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão, (Monografia), por Carvalho, sob orientação de Bezerra, e Análise morfopedológica aplicada em áreas degradadas por processos erosivos na bacia do rio dos Cachorros, São Luís- Maranhão, (Tese), por Lisboa, sob orientação de Guerra e coorientação de Bezerra.

Além disso, já foi realizado o Mapeamentos aplicados à vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão, 2020, (Iniciação Científica), por Silva, sob orientação de Fushimi, Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão, 2020 e Terrenos tecnogênicos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão, 2021 (Iniciação Científica), por Ferreira, sob orientação de Fushimi, e Vulnerabilidade socioambiental aplicados aos processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, 2021, (Monografia), por Silva, sob orientação de Bezerra, dentre outros estudos que agregam conhecimento científico ao estado do Maranhão.

5.1 Características Geoambientais da Área de Estudo

Neste subcapítulo, trabalha-se com as principais características geoambientais, como uso e cobertura da terra, unidades litoestratigráficas, unidades de relevo, curvaturas da superfície, hipsometria, declividade, solos e pluviosidade, tal como a caracterização dos processos erosivos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

No mais, a construção e análise dos estudos do relevo, do solo, do clima e do uso e cobertura da terra, permite a avaliação da dinâmica dessa bacia e a partir do cruzamento desses dados foi possível se estabelecer produtos cartográficos sínteses da fragilidade ambiental e perdas de solos da área. Os trabalhos de campo foram fundamentais para a elaboração da caracterização dessas características geoambientais.

Além desses produtos, se apresentou a perspectiva do zoneamento vigente e das propostas de ordenamento territorial e ambiental, a fim de dar subsídio ao planejamento e gestão da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

5.1.1 Zoneamento

Ao decorrer da construção da presente dissertação, tornou-se penitente fazer uma análise sobre a história e o zoneamento da área de estudo, afim de entender as dinâmicas de uso e cobertura atuais.

A história de início da construção dessa cidade, São Luís, se encontra na bacia hidrográfica do rio Anil – na exploração de suas águas e, posteriormente, na bacia do rio Bacanga. Todavia, somente em meados de 1990 – 2007 que a cidade se expande em direção ao leste, ocupando a bacia hidrográfica do rio Paciência (ATAÍDE *et. al*, 2012). É importante salientar que alguns dos projetos industriais supracitados foram instalados principalmente entre 1988 – 1990 nas bacias hidrográficas do rio Itaqui, Bacanga e Cachorros (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006).

Inicialmente, o planejamento de São Luís privilegiava a zona central da cidade como pode ser visto no Código de Posturas, Decreto nº 205 de novembro de 1936 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1936), idealizado e promulgado pelo prefeito Saboya Ribeiro, que já estabelecia as bases para o primeiro zoneamento da cidade que seria aprovado pelo Decreto nº 217/1936 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1936). No Código de Posturas, Lei nº 1790 de 12 de maio de 1968 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1968), apareceram pela primeira vez os termos Zoneamento e Zonas (SANTOS; COSTA, 2020).

Segundo Santos e Costa (2020), no primeiro zoneamento do município (Decreto nº 217/1936), (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1936), há as Zonas Central e Urbana, a Zona Suburbana, composta pelos povoados do Anil, São José, Pedrinhas, Paço do Lumiar, Olho D'água e Turu e o restante de São Luís sendo classificado como Zona Rural.

É notório que “Saboya Ribeiro anteviu o direcionamento futuro da cidade, para onde ela caminhará (SANTOS; COSTA, 2020, p. 647)”, e o planejamento realizado por meio do zoneamento subsidiou as gestões municipais seguintes. Posteriormente, em torno de 1940, São Luís começou seu crescimento para além do Centro histórico, graças aos bondes elétricos e a abertura de novas vias, como as avenidas Getúlio Vargas e João Pessoa, a partir daí a cidade permanece em contínua expansão.

Todavia, mesmo com a criação de novos zoneamentos e novas políticas de planejamento urbano, esses têm dificuldade em acompanhar o efetivo crescimento espacial da cidade, pois, de acordo com Ross (1994, p. 64), “o zoneamento não pode ser formulado a partir de uma leitura estática do ambiente, mas inserida no entendimento do

processo de ocupação que norteia o desenvolvimento e a apropriação do território e de seus recursos.”

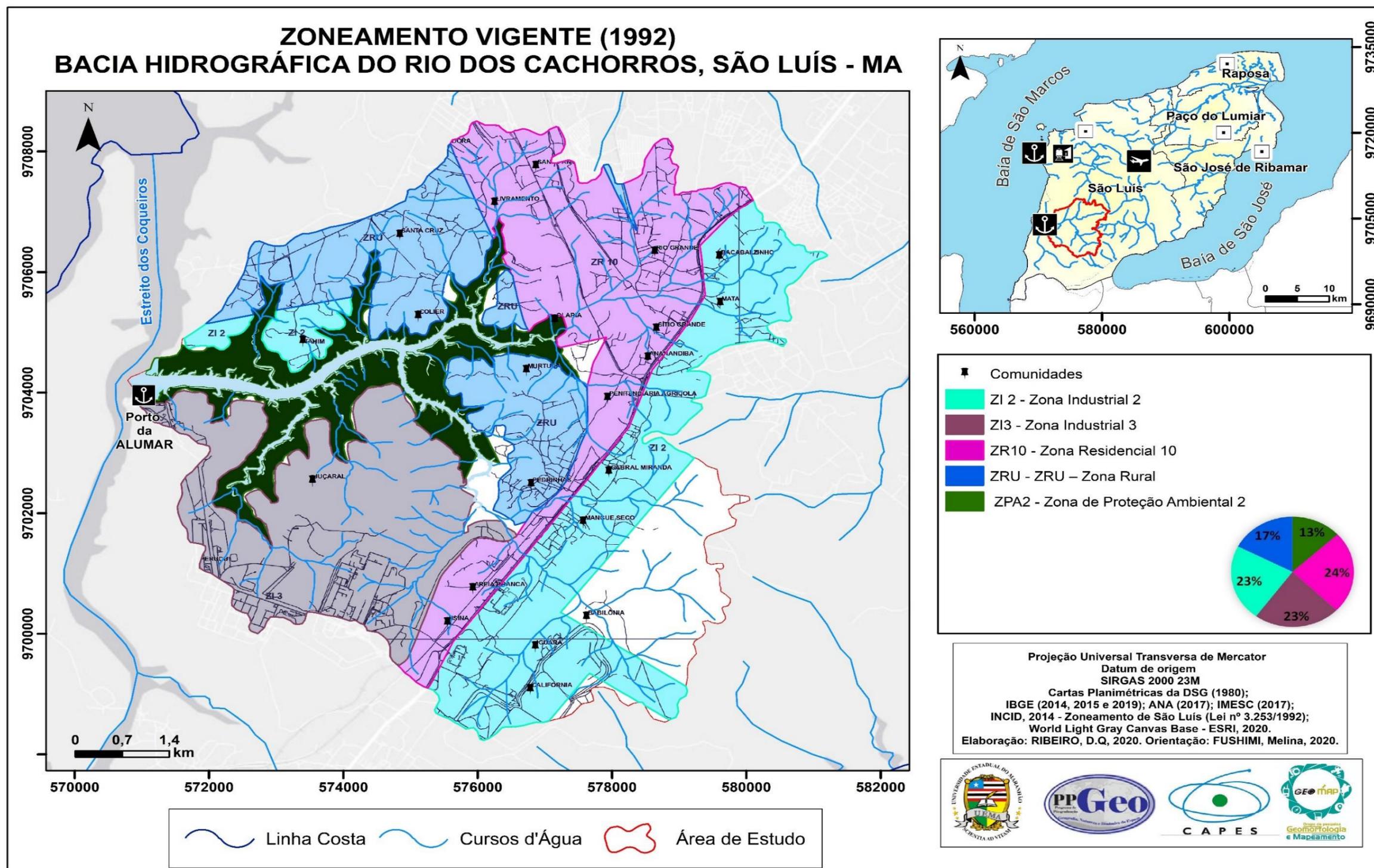
Para mais, a bacia hidrográfica é uma importante unidade de planejamento territorial e ambiental que, dentre seus instrumentos tem-se o zoneamento, o qual deve ser levado em consideração pelos órgãos competentes. Dentre as bacias hidrográficas de São Luís, a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros foi uma das áreas da cidade a receber grandes projetos urbanos e industriais.

A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, limita-se: ao norte com a bacia hidrográfica do rio Bacanga, ao sul com a bacia hidrográfica do rio Estiva, ao leste com bacia hidrográfica do Tibiri, e ao oeste com o Estreito dos Coqueiros. O acesso a essa bacia pode ser realizado por diversas vias de acesso, mas sobretudo pela rodovia, BR-135/MA. Também abrange a Estrada de Ferro Carajás.

Baseado no levantamento bibliográfico, cartográfico e nos trabalhos de campo, foi observado que nos dias atuais essa bacia sofre com disputas de interesses diversos por conta da busca de espaços ocupáveis e da exploração de recursos naturais, de um lado estão as comunidades, e a população no geral, e do outro lado estão os grandes empreendimentos, ou seja, a burguesia (pequena, média e grande) X proletários (classe trabalhadora), ocorrendo uma territorialização que provavelmente não abrange todas as camadas sociais e as características do ambiente. Pautado nessa reflexão foi gerado diversos produtos relacionados ao zoneamento dessa área.

Nesse sentido, com relação os documentos cartográficos gerados, o primeiro trata-se do Zoneamento de São Luís (Lei nº 3.253/1992), (Mapa 2)., (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992), o qual configura-se o zoneamento vigente do município.

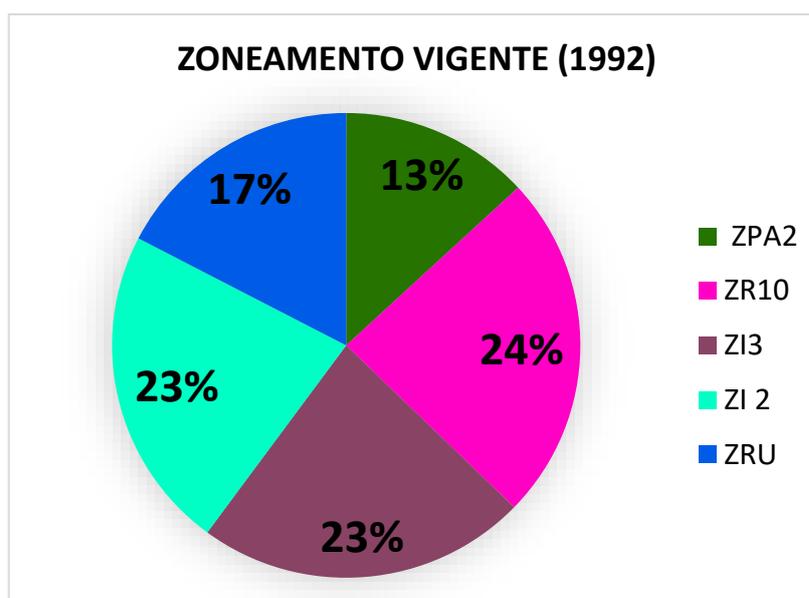
Mapa 2 – Zoneamento vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2014). Elaborado pela autora (2020).

O zoneamento define os padrões de ocupação do solo de uma área, assim como as atividades adequadas e proibidas para as zonas, e no caso da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, as classes apresentadas são: ZPA2 – Zona de Proteção Ambiental 2 (13%), ZR10 – Zona Residencial 10 (24%), ZI2 – Zona Industrial 2 (23%), ZI3 – Zona Industrial 3 (23%) e ZRU – Zona Rural (17%), conforme representa o gráfico a seguir (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Distribuição do zoneamento vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2014).

Elaborado pela autora (2020).

Segundo a Prefeitura de São Luís (1992), os limites da Zona de Proteção Ambiental 2, estão compreendidos pela área do entorno das bacias hidrográficas e de recursos hídricos que estão contidas no município. Na área de estudo está em torno do rio principal da bacia do rio dos Cachorros. Ainda segundo essa Lei, nessa Zona, é permitido o uso somente de C2.2, isto é, comércio de consumo no local/diversões, como casas de café, choperias, casas de músicas e restaurantes. Para mais, na Zona Residencial 10, no art. 223 considera que nesse setor:

O parcelamento, uso e ocupação do solo e a exploração de recursos naturais deverão respeitar as características do solo da região, a integridade biológica das espécies e a qualidade das águas, considerando a Área de Proteção Ambiental do Maracanã e legislação estadual sobre o assunto (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992, p. 47).

Com base nisso, é possível compreender que as zonas devem respeitar as características naturais das áreas que se encontram. No mais, de acordo com a Prefeitura de São Luís (1992), são permitidos os usos na ZR10, de A1 (produtos hortifrutigranjeiros), A2 (a lei não descreve as finalidades), todos R (uso residencial em geral, residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, vilas com até 50 unidades habitacionais e vilas com mais de 50 unidades habitacionais), todos C1 (comércio varejista, comércio de gêneros alimentícios e comércio eventual), C2 (comércio diversificado), C3 (comércio atacadista), S1.3 (serviços socioculturais), S2.2 (serviços pessoais e de saúde), S2.3 (serviços de educação), S2.4 (serviços socioculturais), S2.8 (oficinas de conservação, manutenção, limpeza, reparos, dentre outros), E1 (uso institucional local), I1 (indústrias não incômodas de até 500 m²), e I2 (industriais não incômodas com mais de 50 operários e/ou 500 m de área construída). No que se refere a Zona Industrial 2:

Inicia-se este limite na interseção da estrada de acesso ao Porto Grande com o limite da Zona Rural – Rio dos Cachorros, seguindo pela última e prolongando-se pela linha de preamar do Estreito dos Coqueiros, seguindo pela mesma até atingir novamente a estrada de acesso ao Porto Grande, donde segue com um rumo à direita até encontra o ponto inicial deste perímetro (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992, p. 15).

Nessa Zona, os usos que são permitidos são E1 (uso institucional local), I1 (industrias não incomodas até 500 m²), I2 (industrias não incômodas com mais de 50 operárias e/ou 500 m de área construída), e I3 (industrias incômodas). Sobre a Zona Industrial 3:

Inicia-se no ponto de interseção da linha da preamar do Rio das Pedrinhas com a antiga Estrada de Ferro São Luís – Teresina, prosseguindo pela última até encontrar o limite da preamar do Igarapé do Cajueiro, acompanhando o mesmo, passando também pelos limites da preamar do Igarapé do Cajueiro, Estreito dos Coqueiros, Rio dos Cachorros, novamente pelo limite da preamar do Rio das Pedrinhas, até alcançar o ponto inicial deste perímetro (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992, p. 15).

Na ZI3, são permissíveis os mesmos usos da ZI2, com a única diferença de permitir o I4 (indústrias perigosas). Outrossim, a Lei nº 3.253/1992 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992), explicita a necessidade de apresentação do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para as indústrias a serem instaladas nas Zonas Industriais 1, 2 e 3 e que seja considerada a preservação das bacias fluviais que se encontram e seus recursos naturais.

A Lei nº 3.253/1992 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992), para mais, também declara que os projetos referentes a quaisquer obras, nestas zonas industriais, devem ser submetidos a Prefeitura de São Luís e aos órgãos estaduais e federais. Simultaneamente, a Zona Rural:

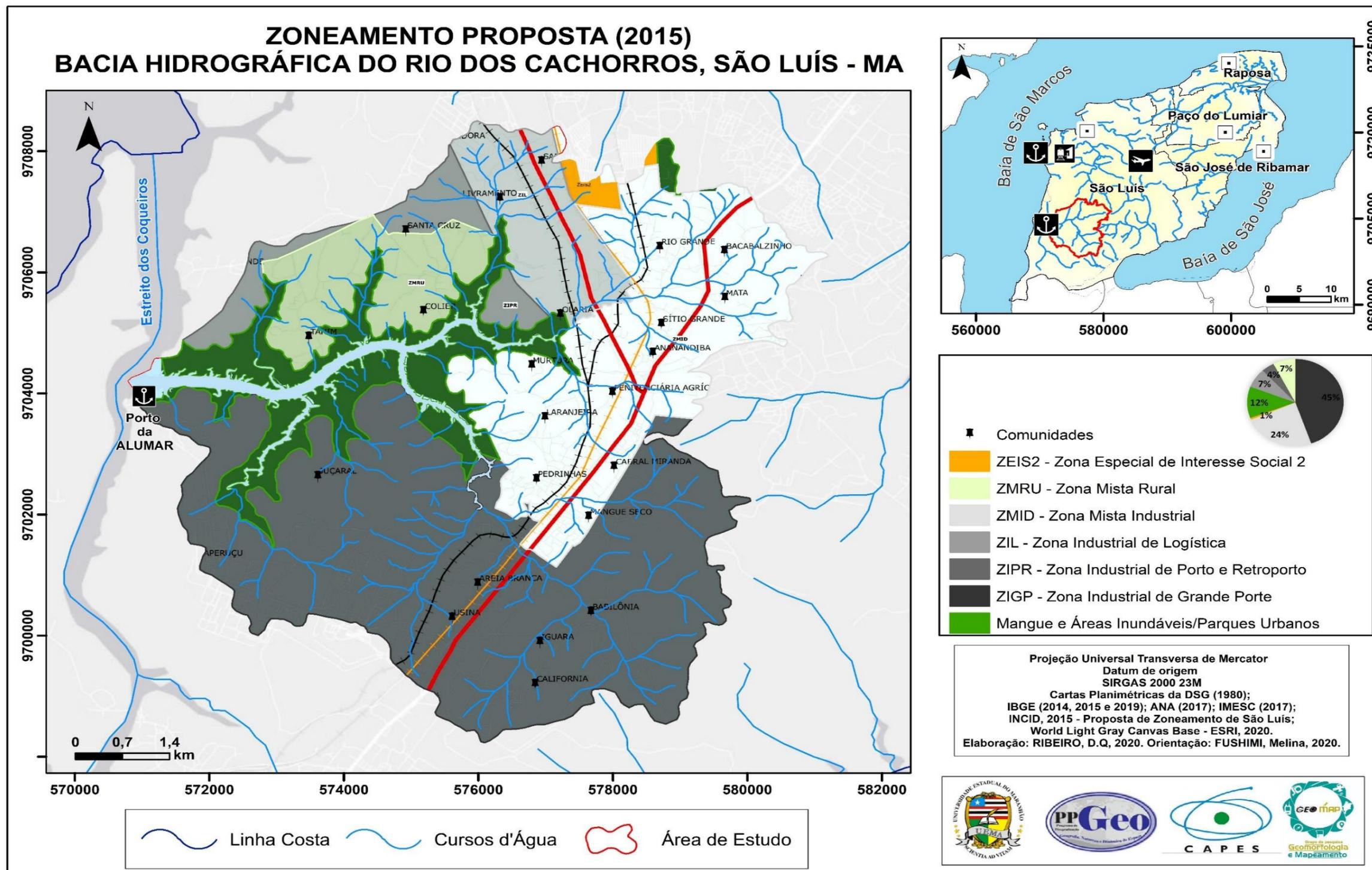
Inicia-se este perímetro no ponto de interseção da estrada de acesso ao Porto Grande com o limite da ZR 10, prosseguindo pelo último até encontrar a Estrada de Ferro Carajás, seguindo por esta à direita até atingir a linha de preamar do Rio das Pedrinhas, seguindo por esta, passando pela preamar do Rio dos Cachorros até encontrar novamente a estrada de acesso ao Porto Grande, prosseguindo pela mesma rumo à esquerda até encontrar a linha limite da Zona de Proteção Ambiental (preamar do Estreito dos Coqueiros), prolongando-se pela mesma e passando pela preamar do Igarapé Pindoba, Baía de São Marcos até atingir novamente o limite da ZR10, donde segue rumo à direita até encontrar o marco inicial deste limite (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992, p, 11 - 12).

Na presente Lei analisada (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 1992), não está definido os usos para a Zona Rural, mas vale ressaltar que a lei que delimita os limites urbanos e rurais do município com base no Plano Diretor de São Luís, Lei nº 4.669/2006 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006).

As comunidades que estão presentes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, segundo o Mapa de Zoneamento Vigente – INCID (2014), são: California, Iguara, Babilônia, Mangue Seco, Cabral Miranda, Penitenciária Agrícola, Usina, Areia Branca, Pedrinhas, Ananandiba, Sítio Grande, Murtura, Mata, Bacabalzinho, Rio Grande, Santo Antônio, Livramento, Santa Cruz, Tahim, Colier, Juçaral e Olaria. E estão dispostas em todas as zonas supracitadas.

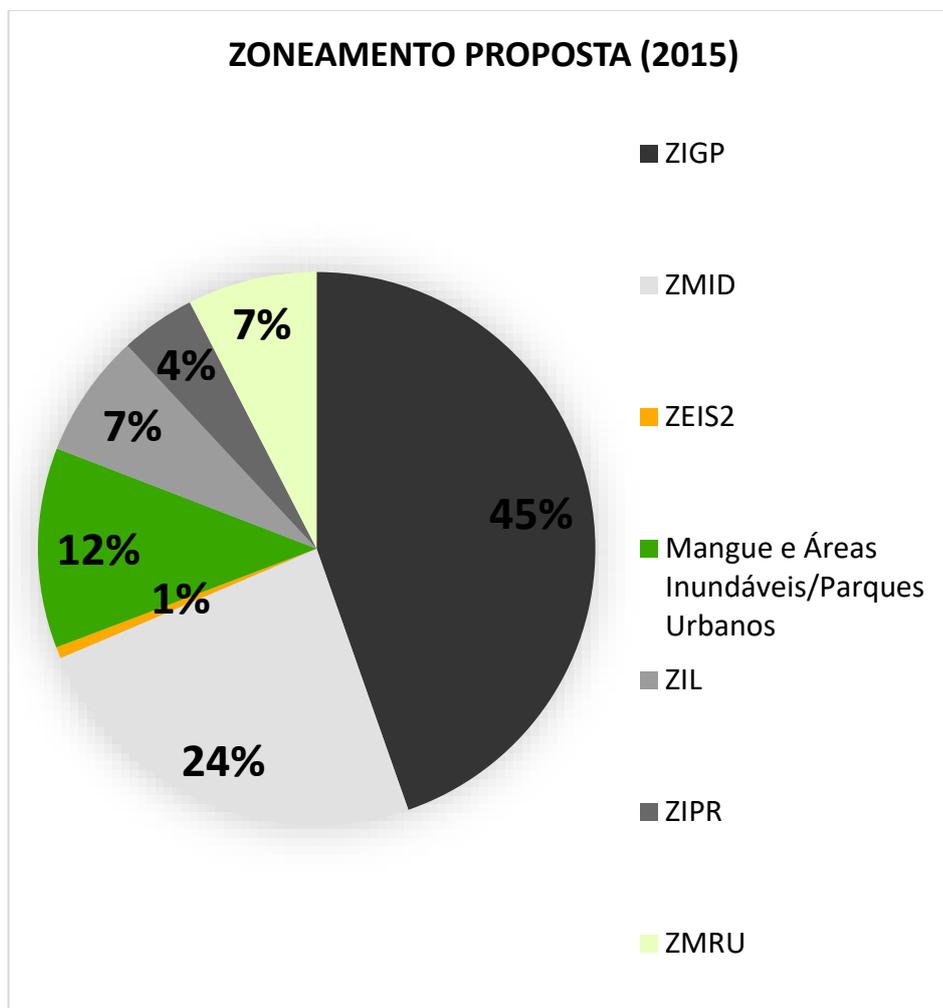
O segundo documento cartográfico gerado trata-se da Proposta de Zoneamento de São Luís de 2015 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2015), (Mapa 3). Quanto à distribuição das zonas na área de estudo, a maior parte é constituída pelo ZIGP – Zona Industrial de Grande Porte (45%), seguido pela ZMID – Zona Mista Industrial (24%), pelos Mangue e Áreas Inundáveis/Parques Urbanos (12%), pela ZIL – Zona Industrial de Logística (7%), pela ZMRU – Zona Mista Rural (7%), pela ZIPR – Zona Industrial de Porto e Retroporto e por fim, pela ZEIS2 – Zona Especial de Interesse Social 2 (1%), conforme representa o gráfico a seguir (Gráfico 2), e por ser uma proposta recente é observável um maior detalhamento nas classes, assim como os usos das zonas, abordadas no projeto de lei.

Mapa 3 – Zoneamento proposta (2015), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2015). Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 2 – Distribuição da proposta de zoneamento (2015), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2015).

Elaborado pela autora (2020).

Na Zona Industrial de Logística, Zona Industrial de Grande Porte, Zona Industrial de Porto e Retroporto, Zona Mista Industrial, são proibidos os usos de cultivo de cereais, plantas de lavouras, horticultura, produção de sementes, proibido também, a criação de bovinos e de animais de grande porte, suínos, ovinos, dentre outros animais. Paralelamente, são proibidas atividades de apoio à agricultura e à pecuária, caça, produção florestal e pesca, sendo permitido principalmente o uso para atividades industriais extrativas de minerais, atividades de apoio a extração de minerais, fabricação de produtos alimentares, de bebidas, de produtos têxteis, confecções e fabricação no geral. Em contra partida liberar comércio, clínicas, escolas para aturem nas áreas, assim como serviços oferecidos para a população.

Conforme o art. 16, da Proposta de Zoneamento (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2015), devido as características de ocupação, juntamente com os índices socioeconômicos e espaciais, e principalmente em razão das atividades industriais que são realizadas nas áreas de ZIL, ZIPR e ZIGP, estas estão localizadas na zona urbana de São Luís.

A Zona Mista Rural é composta pelos usos residencial, unifamiliar, multifamiliar horizontal e vertical, tal como pelas atividades rurais, não sendo permitido atividades industriais extrativas, no entanto, autoriza a presença de fábricas.

A Zona Especial de Interesse Social 2 é descrita como uma área formada por assentamentos de baixa renda, sendo o objetivo de demarcação das Zonas Especiais de Interesse Social promover a recuperação urbanística dessas partes da cidade, da mesma maneira que a produção e recuperações de habitações.

As comunidades que estão presentes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, de acordo com o Mapa de Proposta de Zoneamento – INCID (2015), são as mesmas supracitadas no de Zoneamento Vigente – INCID (2014), com o aditivo da comunidade Laranjeira.

A classe composta por Mangue e Áreas Inundáveis/Parques Urbanos são referentes a proposta de Macrozoneamento Ambiental de 2014 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2014). Nessa Proposta, art. 26:

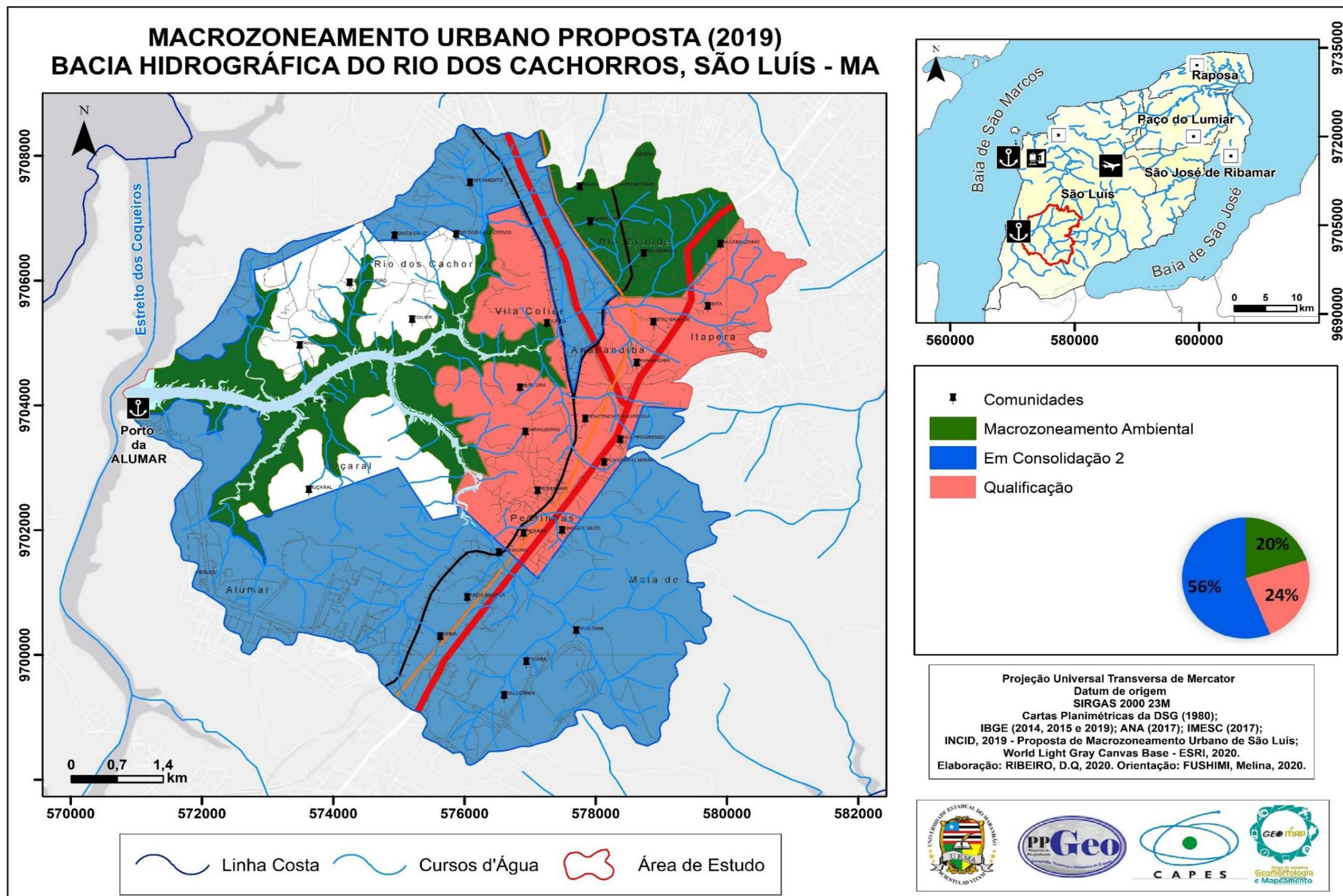
§1º. (Inclusão de §) São consideradas Áreas de Preservação Permanente, além das descritas nos incisos I a VII do Art. 30, todo o interior e uma faixa externa de 30,00m (trinta metros) a partir das margens das bacias hidrográficas, lagos, lagoas, rios, igarapés, mangues e outras áreas inundáveis por marés (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2014).

Os Parques Urbanos, tal como as Unidades de Conservação da Categoria de Uso Sustentável e as Praias, no art. 26-F. (Antigo § 2º do Art. 29, com ajustes), constituem a Macrozona de Uso Sustentável (PROPOSTA MACROZONEAMENTO AMBIENTAL – PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2014). Essas áreas possuem função ambiental de proteção dos corpos hídricos, evitando:

[...] enchentes, inundações, poluição das águas e assoreamento dos canais, além da manutenção da permeabilidade do solo e a recarga de aquíferos, evitando o comprometimento do abastecimento público de água em qualidade e em quantidade, dentre outros fatores (RIBEIRO *et al.*, 2019, p. 2).

O terceiro documento cartográfico elaborado reporta-se a Proposta de Macrozoneamento Urbano de São Luís de 2019 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2019), (Mapa 4).

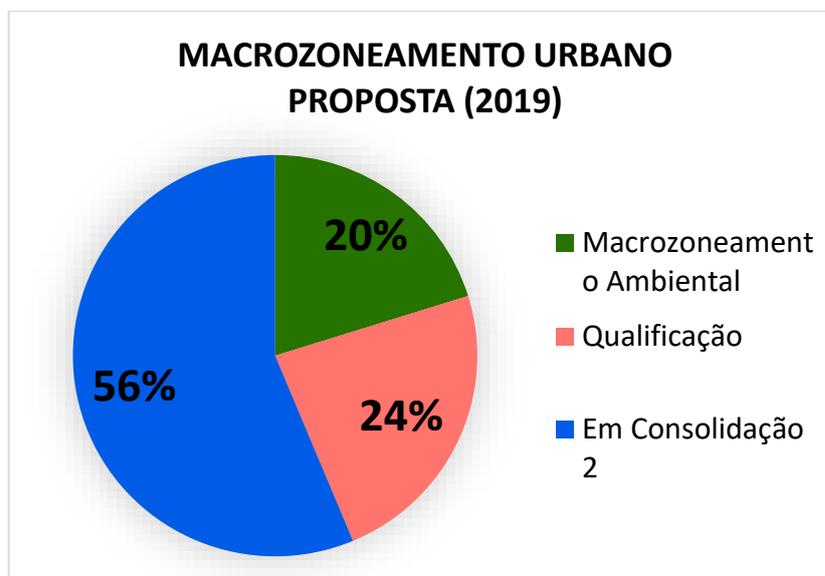
Mapa 4 – Macrozoneamento urbano proposta (2019), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2019). Elaborado pela autora (2020).

No tocante das zonas na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, a maior parte é constituída pelas classes: Em Consolidação 2 (56%), Qualificação (24%), e pelo Macrozoneamento Ambiental (20%), segundo representa o gráfico a seguir (Gráfico 3):

Gráfico 3 – Distribuição da proposta de macrozoneamento urbano (2019), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2019).
Elaborado pela autora (2020).

Em conformidade da Proposta (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2019), art. 46, a Macrozona Em Consolidação 2, são as áreas que possuem vazios urbanos, mas que detém potencialidade de expansão urbana, desde que tenham uma qualificação urbanística.

Com relação a Macrozona de Qualificação, art. 47, da Proposta de Macrozoneamento Urbano (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2019), é composta por áreas ocupadas por assentamentos espontâneos, caracterizados por uma população de baixa renda, baixo nível de escolaridade, dentre outros fatores.

A delimitação dessas áreas tem a finalidade de ser alvo de investimentos públicos, programas de melhorias para a população. Em síntese, essas duas Macrozonas, necessitam de qualificação urbana e social.

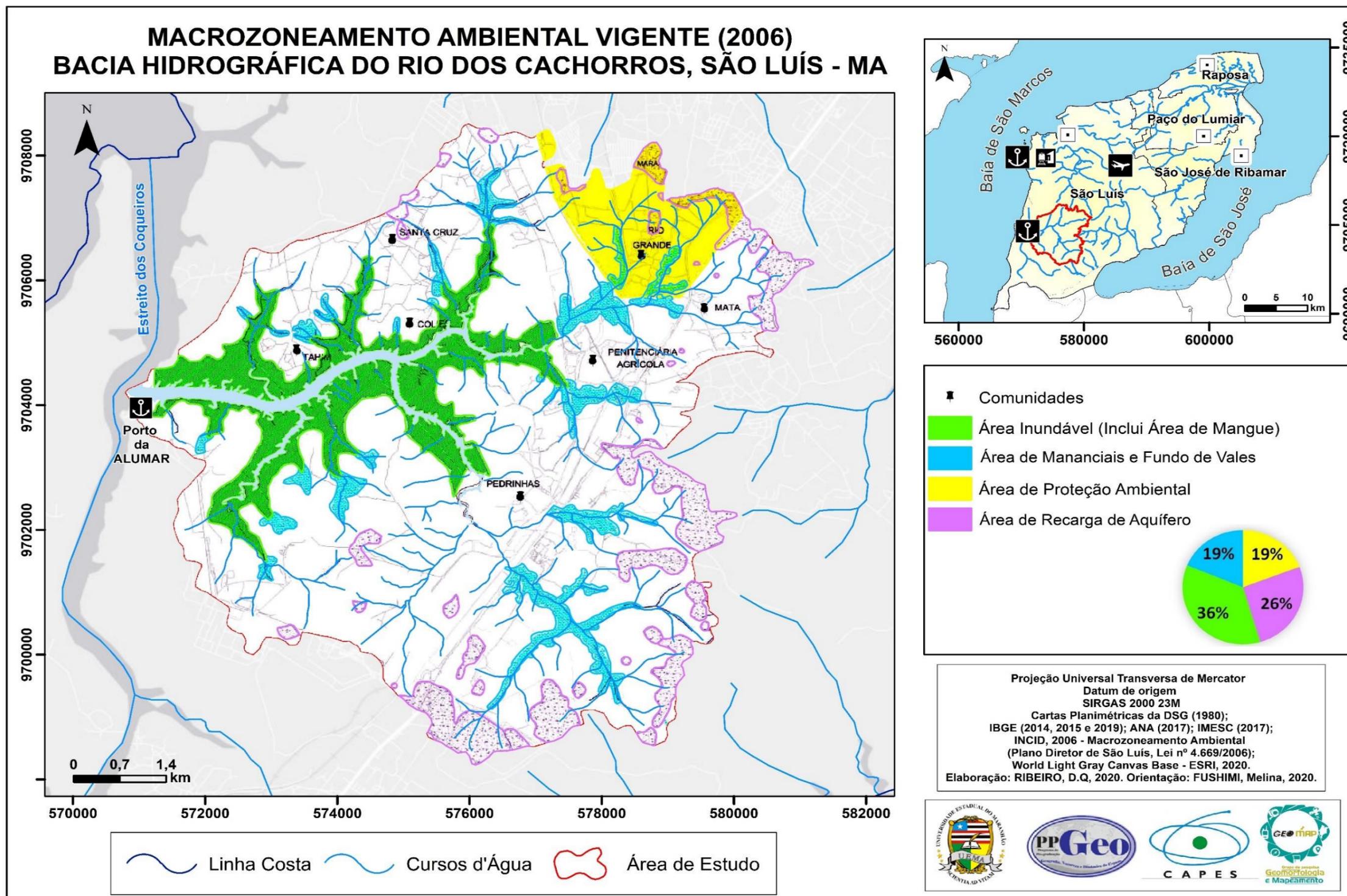
Relativo ao Macrozoneamento Ambiental, no art. 26 dessa Proposta (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2019), é deixado claro que essas áreas são referentes ao patrimônio natural e tem encargo de proteção ambiental, desta forma, o uso e ocupação dessa zona deverá ser feita de forma equilibrada, visando sua proteção. Além das comunidades já

citadas anteriormente, nessa Proposta também são identificados: Vila Limoeiro, Vila Progresso, Piçarra, Vila Murai, Residencial Santo Antônio e Rio dos Cachorros.

Dessa forma, a importância dos mapas de zoneamentos analisados decorre da função de orientar a expansão urbana, a fim de sustentar o desenvolvimento social, econômico e ambiental de um local. Do ponto de vista ambiental, tem-se o Macrozoneamento Ambiental vigente, sendo parte do Plano Diretor do Município de São Luís (Lei nº 4.669/2006 (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006).

O Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento urbano, sendo obrigatório para as cidades com mais de vinte mil habitantes, nos termos do art.182, §1º da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988). Para além, o Macrozoneamento Ambiental identifica as áreas prioritárias para proteção do ambiente (Mapa 5).

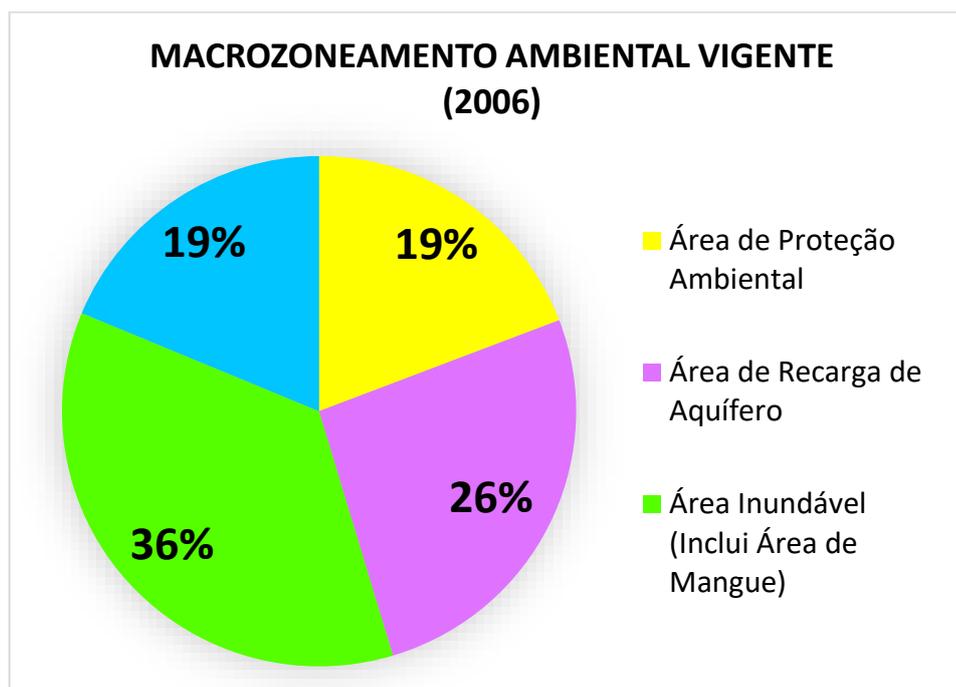
Mapa 5 – Macrozoneamento ambiental vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2006). Elaborado pela autora (2020).

Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, as classes apontadas são: Área Inundável, inclui área de mangue (36%), Área de Recarga de Aquífero (26%), Área de Proteção Ambiental (19%) e Área de Mananciais e Fundo de Vales (19%), segundo representa o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Distribuição do macrozoneamento ambiental vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2006).

Elaborado pela autora (2020).

A Área Inundável, Área de Mananciais e Fundo de Vales, “são áreas definidas por Legislação Federal como áreas de preservação permanente ou como unidades de proteção integral” (Lei nº 4.669/2006 - PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006), são locais de preservação ambiental. A Legislação Federal referente a essas áreas é Código Florestal, Lei nº12.651/12 (BRASIL, 2012).

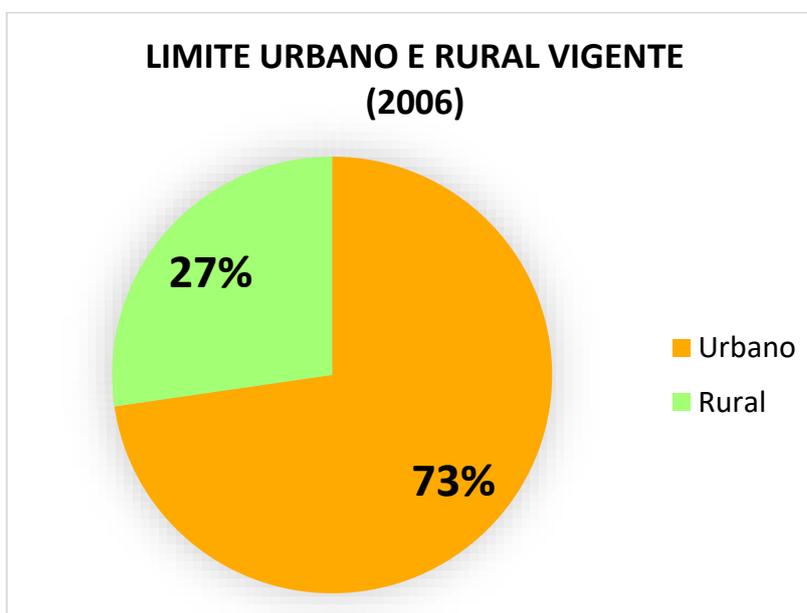
Nessas categorias são permitidos apenas os usos voltados para a pesquisa, educação ambiental e ações voltadas para preservar a natureza. Enquanto, as Áreas de Recarga de Aquífero e a Área de Proteção Ambiental, são áreas de conservação da natureza, de uso sustentável e que são permitidos os usos econômicos.

Todas essas categorias possuem em comum como estratégias a Zona de Proteção Ambiental (ZPA), e a Educação Ambiental como instrumentos para a preservação e da conservação da natureza. As comunidades que estão presentes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, conforme o Mapa de Macrozoneamento Ambiental

Vigente – INCID (2006), são somente: Pedrinhas, Penitenciária Agrícola, Mata, Rio Grande, Santa Cruz, Colier e Tahim. Em suma, o Macrozoneamento Ambiental é essencial para dar aporte para as atividades humanas, com o objetivo de respeitar os recursos naturais.

No tocante aos limites urbanos e rurais, segundo o Plano Diretor de São Luís, Lei nº 4.669/2006) e o respectivo mapa, a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é predominantemente urbana, com 73%, e uma área rural de 27%, como pode ser observado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Distribuição do limite urbano e rural vigente da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCID (2010).

Elaborado pela autora (2020).

De acordo com o Plano Diretor de São Luís (Lei nº 4.669/2006), art. 2, essas áreas são caracterizadas por:

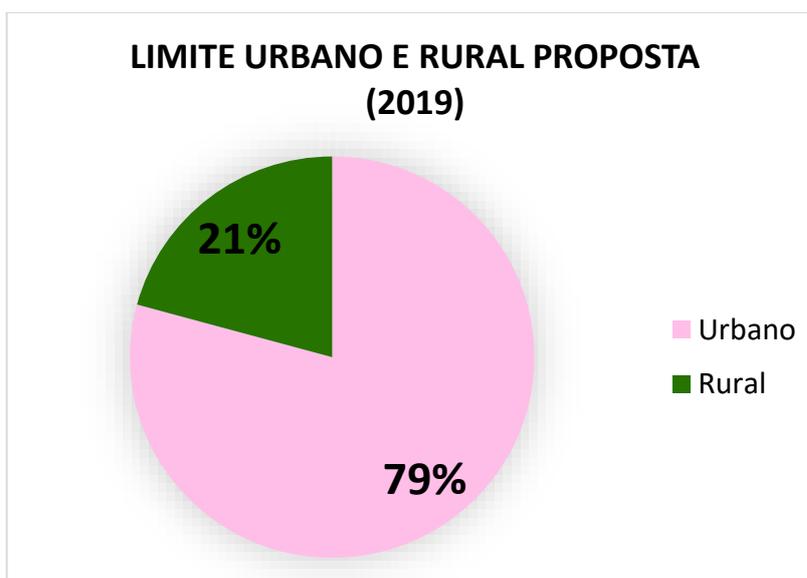
V - **ÁREA URBANA** corresponde à parte do território municipal em que predominam as atividades econômico-industriais e de serviços, existindo uma legislação urbanística que disciplina o uso, o parcelamento e a ocupação do solo; área caracterizada, ainda, pela maior densidade populacional e viária, pela maior fragmentação das propriedades imobiliárias, e onde os serviços e equipamentos estão consolidados e contínuos;

VI - **ÁREA RURAL** é a parte do território municipal em que predominam as atividades econômicas primárias, com potencial agrícola, pecuário, aquícola, pesqueiro, extrativista e agroindustrial; caracteriza-se, também, pela presença de enclaves urbanos e pela descontinuidade espacial da extensão dos serviços e equipamentos públicos;

(PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006, p.1).

Para além disso, o Plano Diretor é a política responsável por manter em equilíbrio o urbano e rural, assim como as políticas de desenvolvimento para ambos. Em contrapartida, na Proposta de Limite Urbano e Rural (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2019), a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros apresenta apenas 21% da sua área como rural, havendo uma diminuição no percentual dessa categoria em comparação ao ano de 2016 (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Distribuição da proposta de limite urbano e rural (2019) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



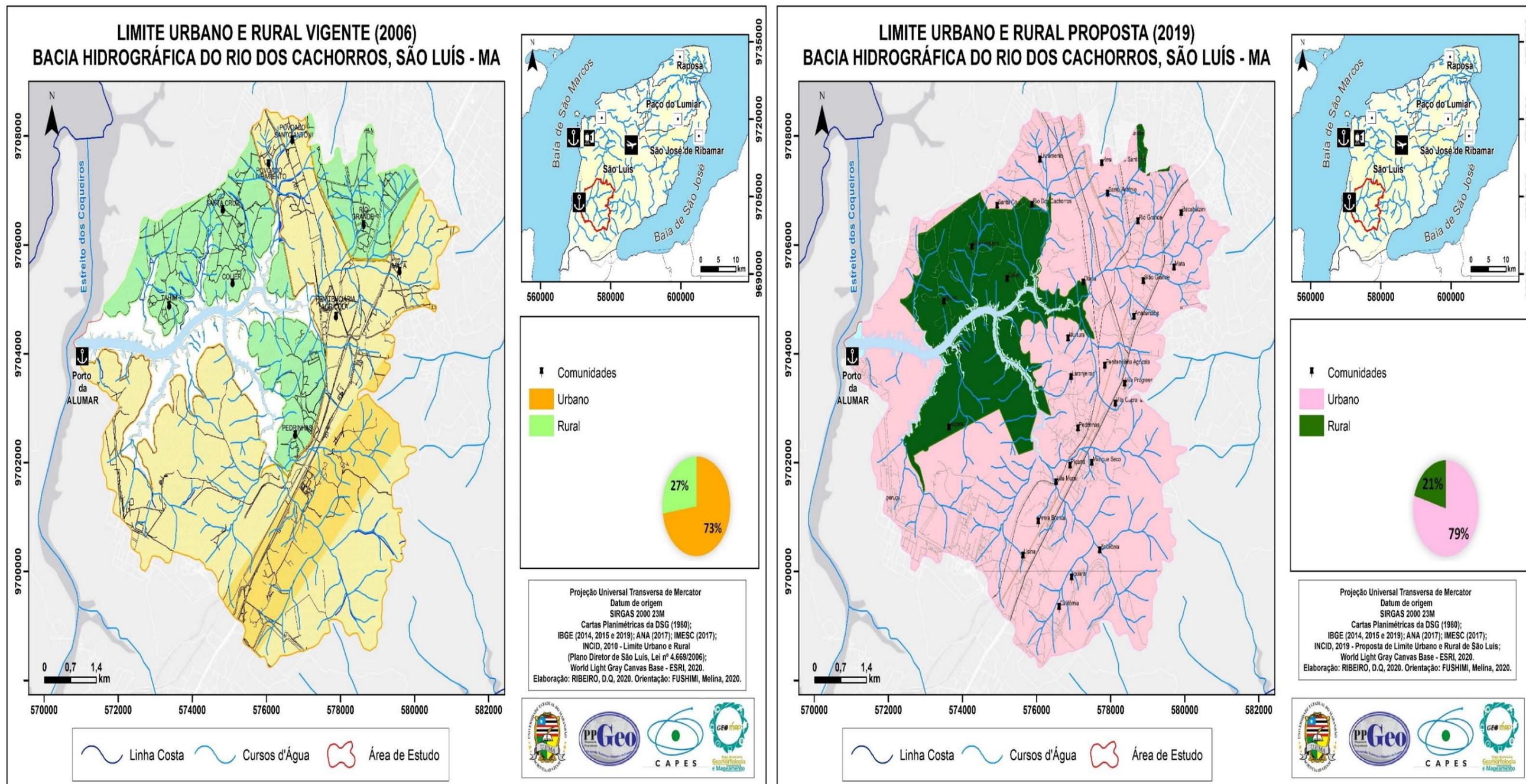
Fonte: INCID (2019).

Elaborado pela autora (2020).

Nesse contexto, estima-se que devido à pressão da urbanização sobre a bacia ocorre a diminuição do uso rural (Mapa 6), e por consequência existe a transformação da paisagem rural, tal como há o aumento de conflitos entre o urbano e o rural, em razão da procura de espaços ocupáveis e quem mais sofre é a população local. Em trabalhos de campo, foi relatado pela população que além dessas tensões, existem também conflitos internos entre as pessoas residentes das comunidades e assentamentos.

Não foi utilizado as mesmas cores em ambos os mapas, limite urbano e rural, e respectivos gráficos em consideração aos aspectos originais dos mapas de 2006, 2010, 2014, 2015 e 2019 do INCID.

Mapa 6 – Comparação do Limite urbano e rural da área da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2006 e 2019), São Luís – MA



Fonte: INCID (2010 e 2019).
 Elaborado pela autora (2020).

Durante os trabalhos de campo foi possível observar a maneira que as comunidades supracitadas se relacionam com o ambiente, utilizam da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros como forma de subsistência, praticando atividades como a pesca (Foto 3) e plantio. Essas comunidades resistem ao processo de urbanização e tentam manter o seu modo de vida simples e a sua identidade no território da bacia, sobrevivendo as vezes com grande fragilidade social.

Foto 3 – Pescadores na planície de maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

À vista disso, a urbanização frequentemente aumenta a pressão para a transferência dos recursos naturais, dos sistemas públicos, investimentos privados das localidades rurais para as urbanas. Dessa maneira, na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros existe também uma valorização das áreas ocupáveis pela expansão urbana e industrial, sobretudo em razão da bacia apresentar uma abundância de recursos minerais, porém a superexploração desses recursos pode promover consequências ambientais, econômicas e para a saúde das pessoas que moram entorno das zonas industriais.

Com relação ao mapeamento apresentado foi constatado que a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros possui diversos agentes sociais, sobretudo a urbana (uso residencial e serviços), a rural (comunidades e assentamentos) e a industrial, além das áreas de proteção ambiental e cada um desses grupos utiliza a terra de maneira diferenciada. Também foi constada a diminuição da área rural, aumento da área urbana e multiplicação de classes industriais, principalmente relacionadas ao sistema portuário (Foto 4) e com a mineração (Foto 5).

Foto 4 – Diversas embarcações na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte:

Acervo da pesquisa (2021).

Foto 5 – Dragagem retirando água e areia para a construção civil, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

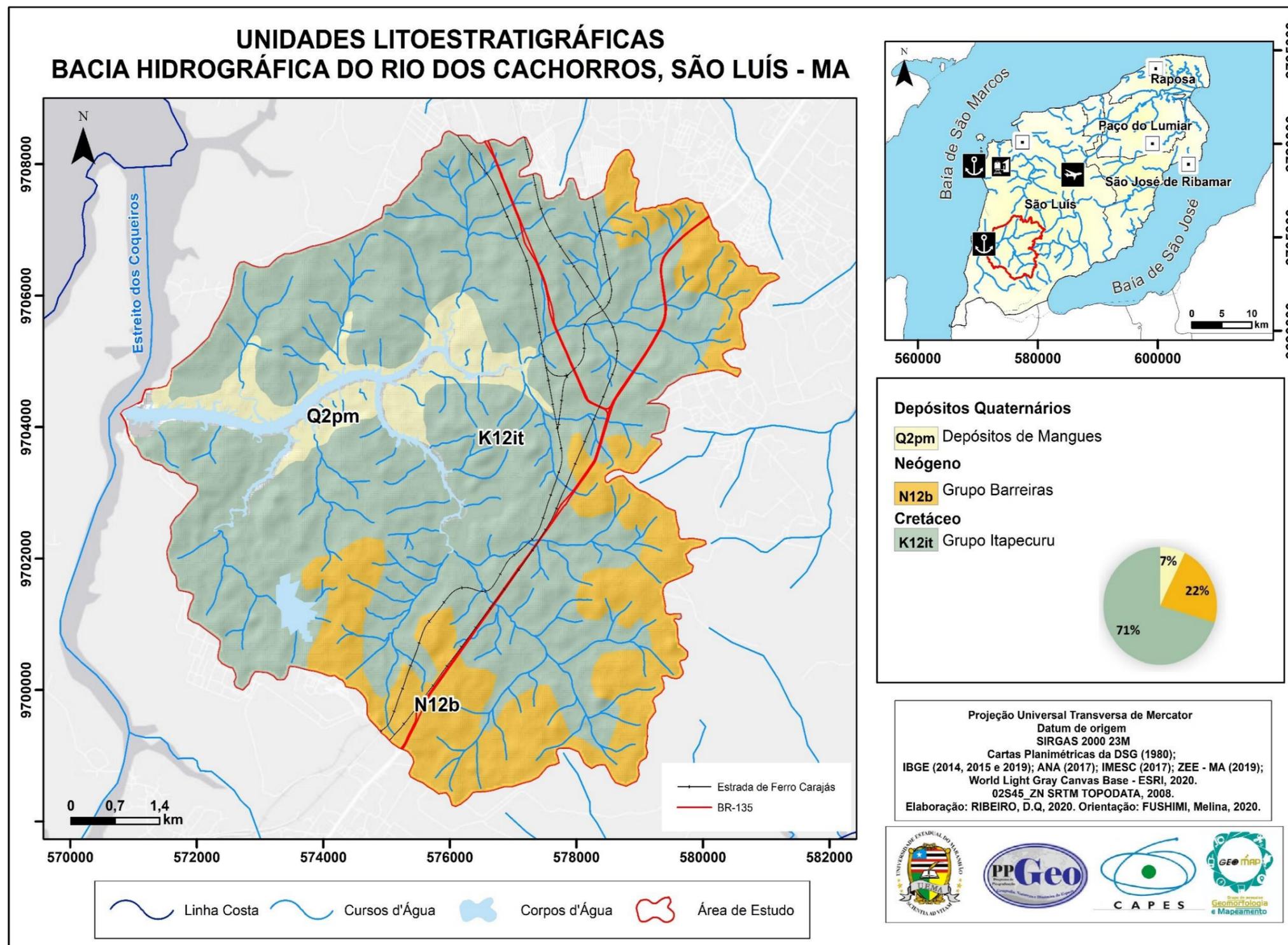
Em suma, compreende-se que trabalhos que abordam temáticas correlacionadas ao planejamento e gestão em bacias hidrográficas são de extrema importância, sobretudo, no entendimento da conjuntura entre a relação entre a sociedade e a natureza, pois a bacia hidrográfica é uma importante unidade de planejamento, e deve ser levada em conta pelos órgãos competentes pelo zoneamento de uma cidade. Além disso, durante esse planejamento deve ser colocado em pautas políticas públicas que valorizem e preservem as comunidades tradicionais.

5.1.2 Geologia

Para a presente pesquisa é pertinente entender o extrato rochoso dessa bacia, pois esse levantamento é a base para o estudo dos solos, e para compreender a dinâmica de processos intempéricos e pedogenéticos, Além de compreender o motivo da presença de tantas mineradoras nessa área.

Dessa forma, do ponto de vista geológico, a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é formada pelas unidades litoestratigráficas (Mapa 7): Grupo Itapecuru (K12it), Grupo Barreiras (ENb), e Depósitos Mangues (Q2pm), dados referentes ao ZEE – MA (IMESC, 2019).

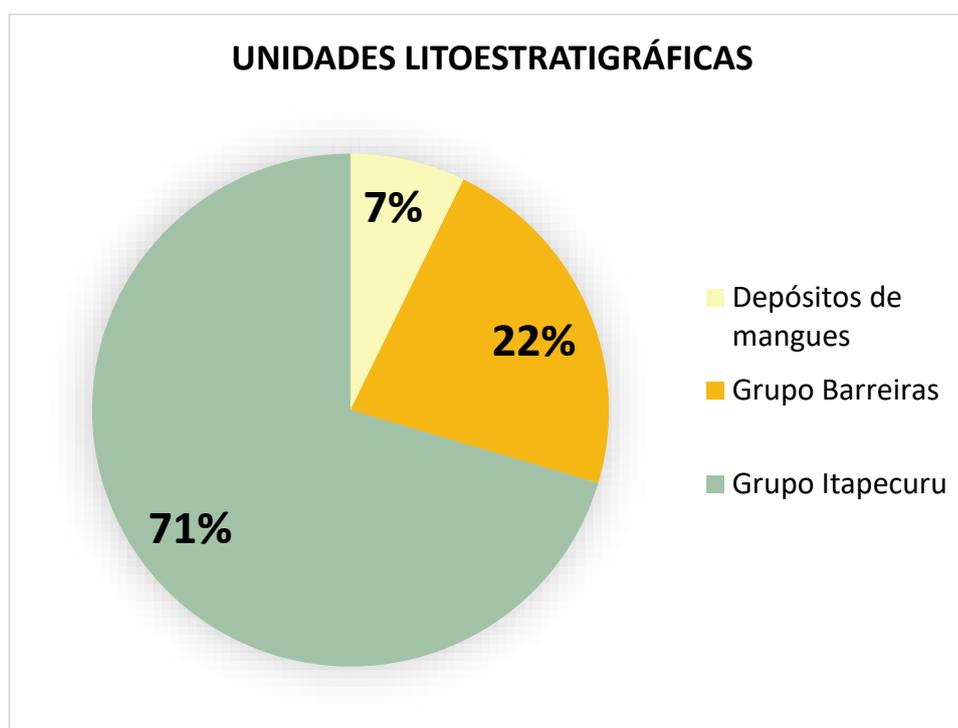
Mapa 7 – Unidades litoestratigráficas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: IMESC/ZEE – MA (2019). Elaborado pela autora (2020).

Em relação à distribuição dessas classes na área de estudo, a maior parte é constituída pelo Grupo Itapecuru (71%), seguido pelo Grupo Barreiras (22%), e pelos Depósitos de Mangues (7%), conforme representa o gráfico a seguir (Gráfico 7):

Gráfico 7 – Distribuição das classes de litoestratigráficas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: IMESC/ZEE – MA (2019).
Elaborado pela autora (2020).

O Grupo Itapecuru (K12it) (Foto 6), Mesozoico (Cretáceo – Albiano), é uma das unidades com maior espacialização no Maranhão (KLEIN *et al.*, 2012). Inicialmente, era considerado como formação, porém, Rossetti e Truckenbrodt (1977), ascenderam a Formação Itapecuru a Grupo, por este ser formado pela Unidade Indiferenciada (Albiano - em subsuperfície), Formação Alcântara (Albiano- Cenomaniano), e Formação Cujupe (Cretáceo Superior), (KLEIN *et al.*, 2012).

Foto 6 – Grupo Itapecuru, (2017), São Luís – MA



Fonte: Autora (2017).

Para mais, o Grupo Itapecuru é constituído por arenitos, argilitos, siltitos e conglomerados, oriundos de deposição em diversos ambientes, como fluviais, deltaicos e lagunares (LIMA; LEITE, 1978; GONÇALVES; CARVALHO, 1996; ANAISSE JÚNIOR, 1999). No mais, as rochas desse Grupo “[...] são suscetíveis a processos erosivos como voçorocas e deslizamentos e possuem potencialidades para minerais minérios de emprego direto na construção civil como areia, argila, laterita e piçarra” (SANTOS *et al.*, 2019, p. 52).

Em relação ao Grupo Barreiras (ENb), Neógeno (23Ma), essa é uma das unidades litoestratigráficas com maior espacialização do litoral brasileiro (ARAÚJO *et al.*, 2006). No Maranhão, essa unidade “[...] recobre discordantemente o Grupo Itapecuru” (KLEIN *et al.*, 2012, p. 81), assim como, é visível na Foto 7.

Foto 7 – Grupo Barreiras recobrimdo o Grupo Itapecuru, (2018), São Luís – MA

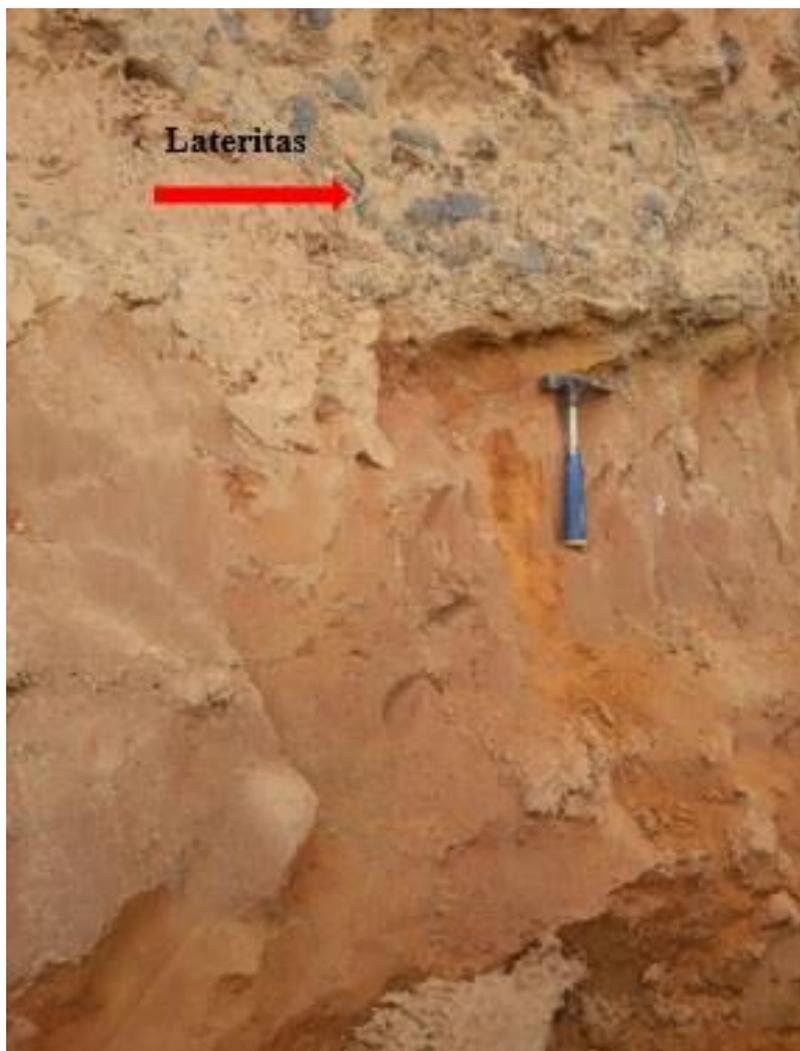


Fonte: Castro (2018).

Segundo Santos *et al.* (2019, p. 54), os sedimentos inconsolidados do Grupo Barreiras são amarelados e avermelhados, arenosos finos a argilosos, maciços e por vezes mosqueados, com presença de lateritas concentradas ou dispersas”, como na Foto 8.

Conforme Arai (2006) e Ferraz e Valadão (2005), essa unidade litoestratigráfica deve ser considerada como grupo, em razão de ter pelo menos duas sequências bem distintas, denominadas de Barreiras Inferior e Barreiras Superior, essa literatura já é adotada pelas publicações mais recentes como Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão da CPRM (2012), Geodiversidade do Estado do Maranhão (CPRM, 2013), ZEE - MA do IMESC (2019), e Geodiversidade da Ilha do Maranhão (CPRM, 2020), dentre outras referências.

Foto 8 – Grupo Barreiras, (2016), São Luís – MA.



Fonte: Autora (2016).

Sob o aspecto hidrogeológico, em conformidade com Santos (*et al.*, 2019, p. 52), “o aquífero Itapecuru ocorre como aquífero livre ou semi-confinado, em decorrência da sua composição litológica formada por arenitos finos a muito finos, predominantemente argilosos, com intercalações de siltitos e argilitos.” Enquanto que o Grupo Barreiras é caracterizado por intercalações de níveis mais e menos permeáveis, em razão de suas fácies arenosas estarem inseridas em sequências argilosas (SANTOS *et al.*, 2019).

Para mais, Castro e Pereira (2012) individualizaram três fácies da Formação Barreiras (Atualmente, leia-se Grupo), na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, sendo as fácies arenosas, areno-argilosas e argilo-arenosas. Sobre as Fácies Arenosas:

[...] Constituem-se de areia fina a muito fina, creme a avermelhado-alaranjado, bem selecionada, quartzosa, de consistência baixa, friável, alta a média permeabilidade. Apresenta intercalações de concreções lateríticas geralmente no topo. Na área de estudo, as fácies arenosas apresentam-se no topo dos tabuleiros e colina presentes nos interflúvios das sub-bacias [...] (CASTRO; PEREIRA, 2012, p. 755).

A respeito das Fácies Areno-Argilosas: “são sedimentos de coloração avermelhada a amarelada, composta de areia fina a argilosa, apresentasse nas altas e médias encostas, nas cotas altimétricas de 30-20 m, compreendendo a áreas de todas as sub-bacias” (CASTRO; PEREIRA, 2012, p. 755). Com relação as Fácies Argilo-Arenosa:

[...] apresentam sedimentos de coloração avermelhada a amarelada, argilo-arenoso, presença de concentrações de laterita, angulosas, de tamanho centimétrico a milimétrico, média permeabilidade facilitada pelos macroporos associado às lateritas mal selecionadas (CASTRO; PEREIRA, 2012, p. 756).

Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, essas fácies supracitadas têm sido muito exploradas, em razão da extração de areia e laterita (CASTRO; PEREIRA, 2012). Sobre os Depósitos de Mangues (Q2pm) (Foto 9), estes são do Holoceno e são mais representativos no litoral noroeste do Maranhão (VILLWOCK *et al.*, 2005).

Foto 9 – Depósitos de Mangues na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2019), São Luís – MA



Fonte: Fushimi e Oliveira (2020, p. 1100).

Segundo Klein *et al.* (2012, p. 86-87), “os Depósitos de Manguê constituem extensas planícies lamosas de até 27 km de largura e ficam situados entre os limites de maré alta e baixa, assim sendo inundados regularmente pela maré semi-diurnas”. E são recobertos por três tipos principais de espécies de manguezais: *Rhizophora mangle* (Foto 10), *Laguncularia racemosa* e *Avicennia nítida* (DAMÁSIO, 1980).

Foto 10 – *Rhizophora mangle* na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2019), São Luís – MA



Fonte: Fushimi e Oliveira (2020).

Em geral, os Depósitos de Mangues são constituídos por sedimentos lamosos, de coloração cinza, ricos em matéria orgânica (KLEIN *et al.*, 2012, SANTOS *et al.*, 2019), constituindo áreas muito ricas do ponto de vista ambiental, principalmente para o equilíbrio e manutenção da vida marinha.

Em cruzamento com esses dados do SIGMINE (ANM, 2021) e com o mapa geológico da área referente ao ZEE – MA, (IMESC, 2019), foi observado que eles ocupam as três unidades litoestratigráficas da bacia (Grupo Itapecuru, Grupo Barreiras e Depósitos de Mangues).

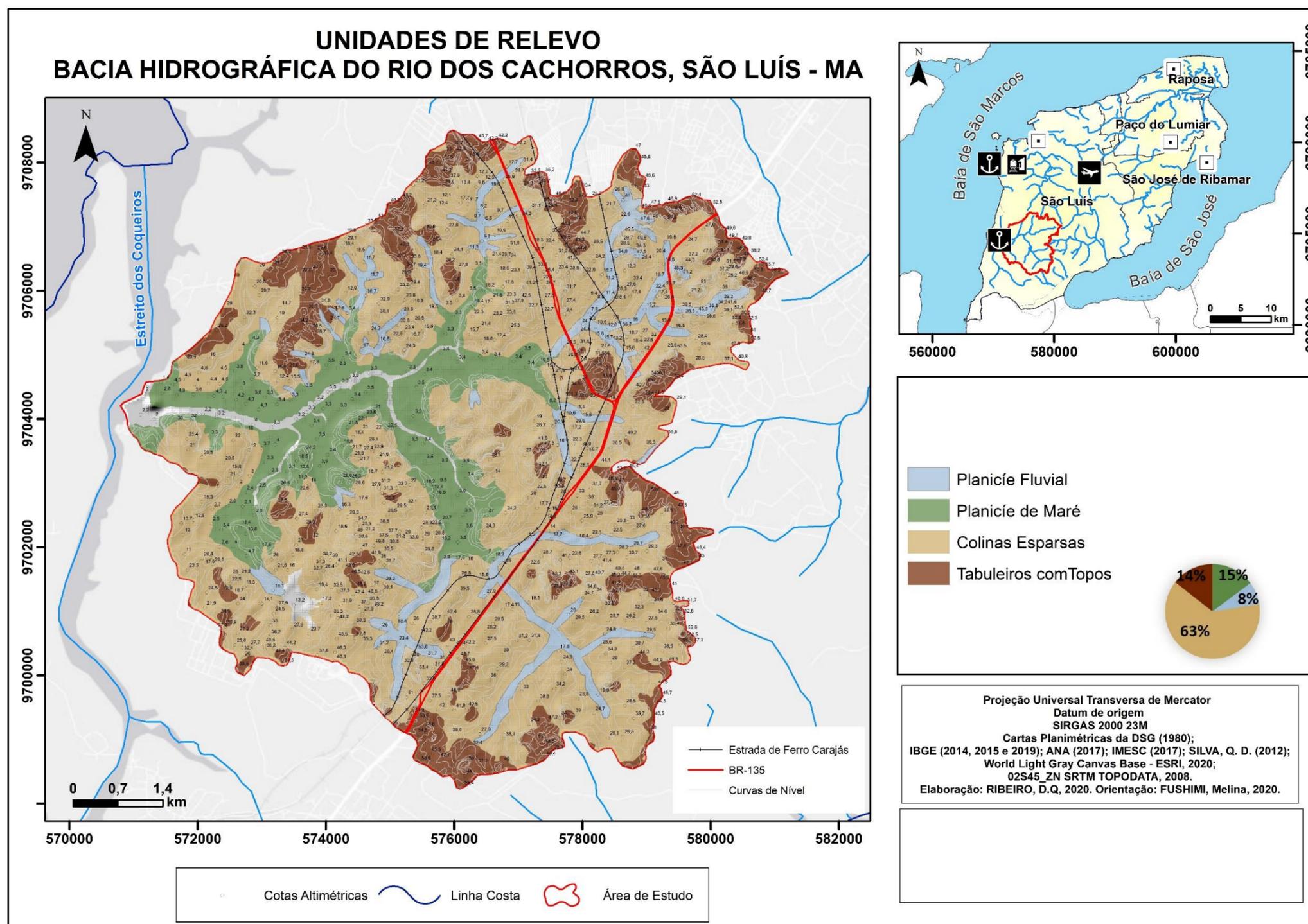
Em síntese, é importante se conhecer as características do substrato rochoso da área de estudo, pois com base nessas informações, pode ser entendido o comportamento frente aos seus processos erosivos. Além do mais, para se ter a compreensão do porquê das atividades de extração mineral ocorrem nessa bacia hidrográfica e o motivo de ser uma área tão disputada pelas grandes empresas.

5.1.3 Geomorfologia

No tocante às características geomorfológicas, o relevo pode favorecer ou dificultar o processo de uso dos agentes sociais, bem como favorecer ou não as perdas de solos.

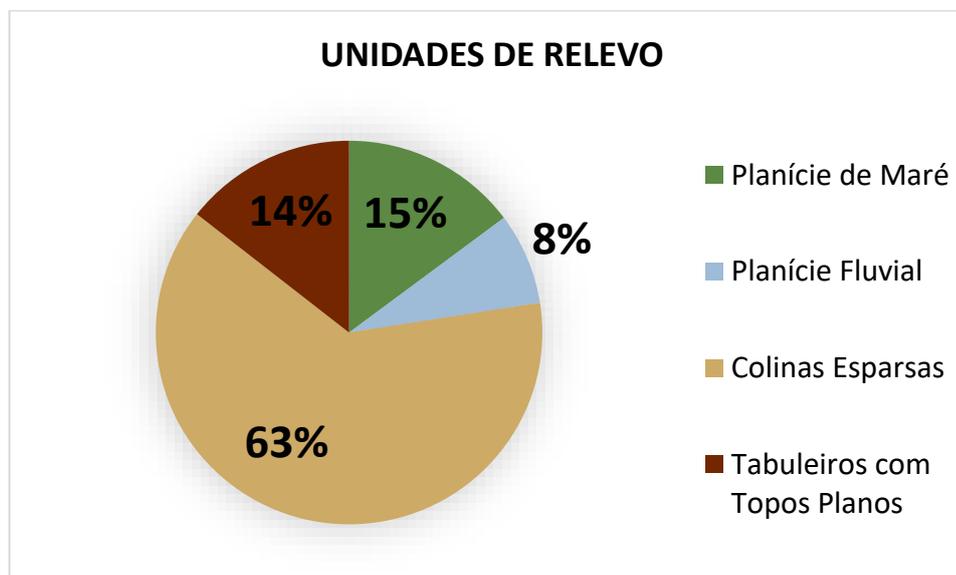
A Geomorfologia (Mapa 8), a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é formada pelas unidades de relevo: Colinas Esparsas, Planície Fluvial, Planície de Maré e Tabuleiros com Topos Planos, dados referentes a Silva (2012). Em relação à distribuição dessas classes na área de estudo, a maior parte é constituída pelo Colinas Esparsas (63%), seguido pela Planície de Maré (15%), pelos Tabuleiros com Topos Planos (14%), pela Planície Fluvial (8%), conforme representa o gráfico a seguir (Gráfico 8):

Mapa 8 – Unidades de relevo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Silva (2012). Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 8 – Distribuição das classes de relevo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Silva (2012).
Elaborado pela autora (2020).

Segundo Guerra (2008, p. 146), colina é o “termo usado na descrição da paisagem física, pelos geomorfólogos, para indicar pequenas elevações do terreno com declividade suaves e inferiores aos outeiros”. Na Ilha do Maranhão, “as colinas representam as porções do tabuleiro que sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico e ainda preservam seu topo relativamente aplainado com encostas brandas a íngremes [...]” (PEREIRA, 2006, p. 99).

Foi notado que na área de estudo é característico a predominância de Colinas Esparsas com declividade moderadamente plana a ondulada e que os topos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros são aplainados e suaves. No mais, tabuleiro, para Guerra (2008, p. 594), é a “forma topográfica de terreno que se assemelha a planaltos, terminando geralmente de forma abrupta.” Os topos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros são aplainados e suaves.

Em relação as planícies de maré, se desenvolvem ao decorrer de costas de baixo declive, com marcado ciclo de marés, onde há suficiente sedimento disponível e não existe forte ação das ondas (REINECK; SINGH 1973). Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, a planície de maré (Foto 11) ocupa o baixo e o médio curso do canal de drenagem principal e apresenta os seguintes atributos, conforme Fushimi e Oliveira (2020, p. 1098):

[...] Planície de maré, com morfologias costeiras deposicionais, declividades entre 0 a 2% e excepcionalmente até 12%, dissecação muito fraca e altitudes de 0 a 5 metros, em conformidade com o mapa geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala 1:60.000 elaborado por Silva (2012).

Foto 11 – Planície de Maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2019), São Luís – MA



Fonte: Fushimi e Oliveira (2020).

A planície de maré dessa bacia, “[...] possui grande importância para os ecossistemas terrestres e aquáticos, os grandes empreendimentos e as comunidades rurais locais, as quais utilizam da pesca como fonte de renda e de subsistência (FUSHIMI; OLIVEIRA, 2020, p. 1103).

Sobre as planícies fluviais, são terrenos baixos e planos, formados por acumulação de material (FLORENZANO, 2008). Além disso, esse sistema geomorfológico é composto por subsistemas.

Historicamente, as cidades se desenvolveram nos arredores dos rios, mas a partir do século XIX, o desenvolvimento industrial e o urbano vêm fazendo com que a planície fluvial seja cada vez mais ocupada e urbanizada. Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, em uma parte da sua planície fluvial está instalada uma empresa de tinta industrial, óleo e produtos químicos (Foto 12). Além disso, a empresa construiu uma ponte sobre o leito do rio e uma estrutura para a canalização de suas águas (SANTOS, FUSHIMI; SILVA, 2020).

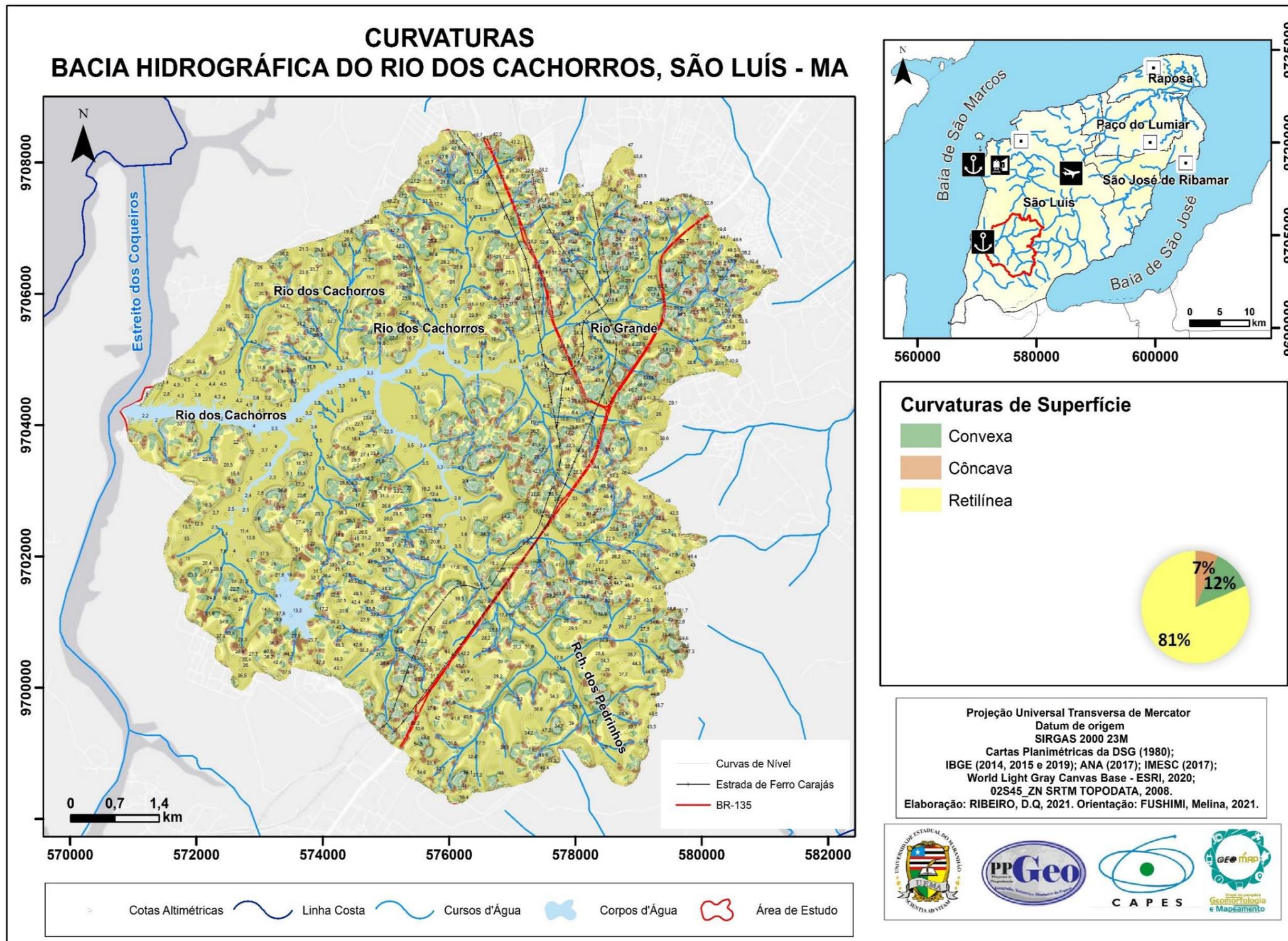
Foto 12 – Empresa ocupando a planície fluvial da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2019), São Luís – MA



Fonte: Santos, Fushimi e Silva (2020).

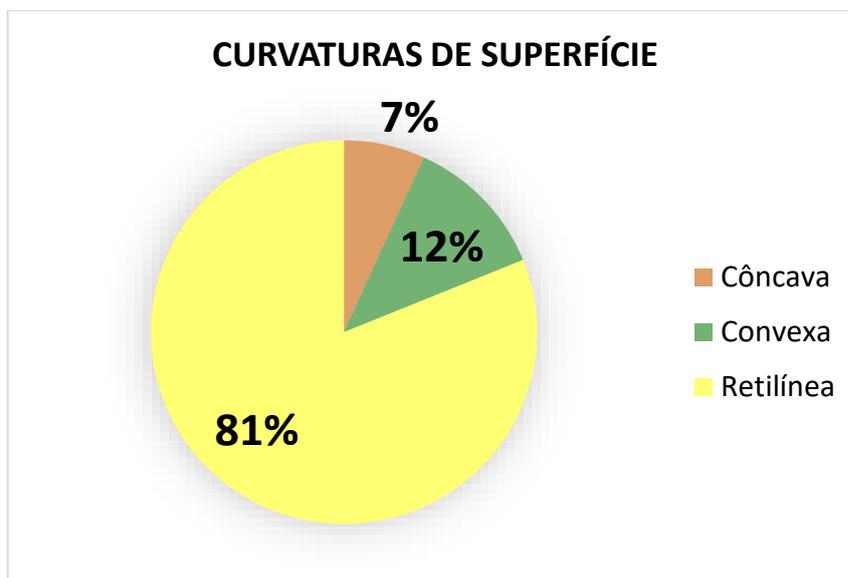
As distintas unidades de relevo e os tipos de curvaturas de superfícies se comportam de forma distintas em relação ao fluxo d'água, conseqüentemente em relação a fragilidade ambiental e as perdas de solos. Com relação as curvaturas de superfície (Mapa 19), elas podem ser agrupadas em três principais tipos: Côncavas, Convexas e Retilíneas (GUERRA, 2008), sendo os formatos retilíneos mais predominantes na bacia de estudo, conforme Gráfico 19. Sendo que a declividade das curvaturas de superfícies Côncavas é considerada alta para o ambiente costeiro em estudo.

Mapa 9 – Curvaturas da superfície da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: DSG (1980). Elaborado pela autora (2021).

Gráfico 9 – Distribuição das classes das formas de curvatura de superfície da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

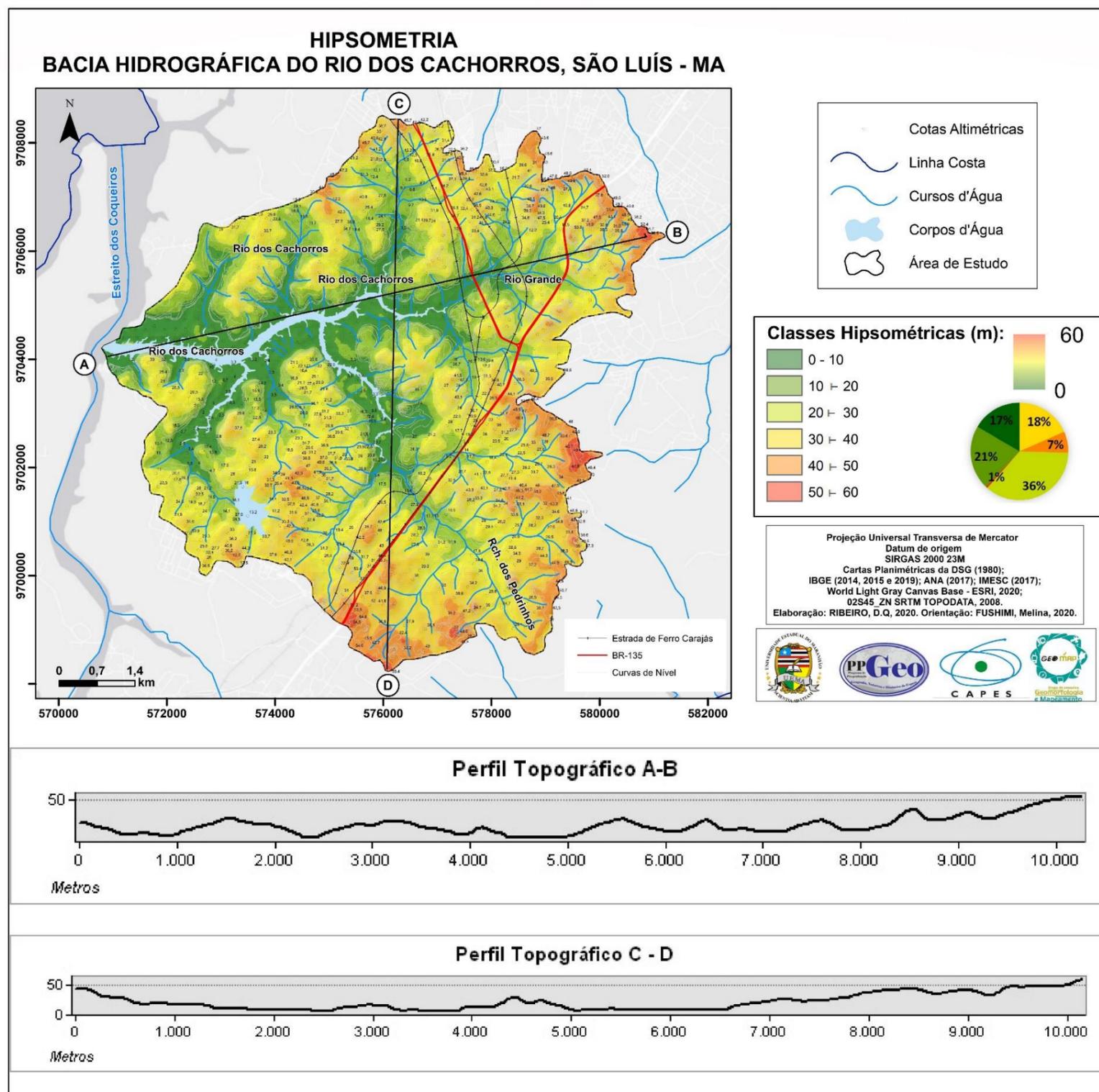


Fonte: DSG (1980).
Elaborado pela autora (2021).

Para mais, nas curvaturas côncavas tem-se o predomínio da convergência do escoamento superficial, enquanto nas convexas prevalece a divergência dos fluxos. Para além disso, o comportamento de uma bacia hidrográfica é também influenciado pela hipsometria e a declividade da área.

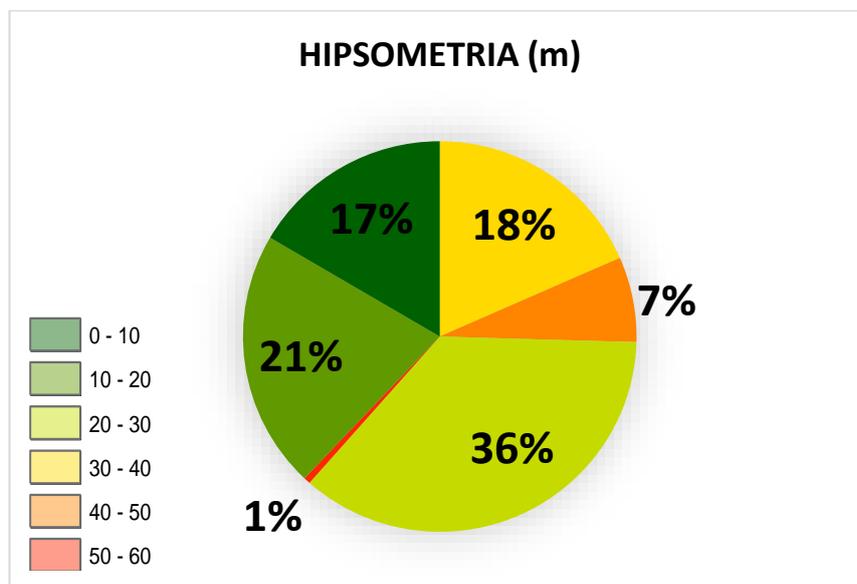
Na extensão da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, ocorre a presença de faixas altimétricas aproximadas de 4 a 58 metros (m), com predominância de médias altitudes com 23 m (Mapa 10 e Gráfico 10). A maior altitude encontrada em São Luís atinge 60 metros. Nesse sentido, por processo da energia cinética e gravitacional, o transporte de sedimentos em localidades de maior altitude para mais baixas apresenta maior capacidade erosiva.

Mapa 10 – Hipsometria da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INPE (2008). Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 10 – Distribuição das classes hipsométricas da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INPE (2008).
Elaborado pela autora (2020).

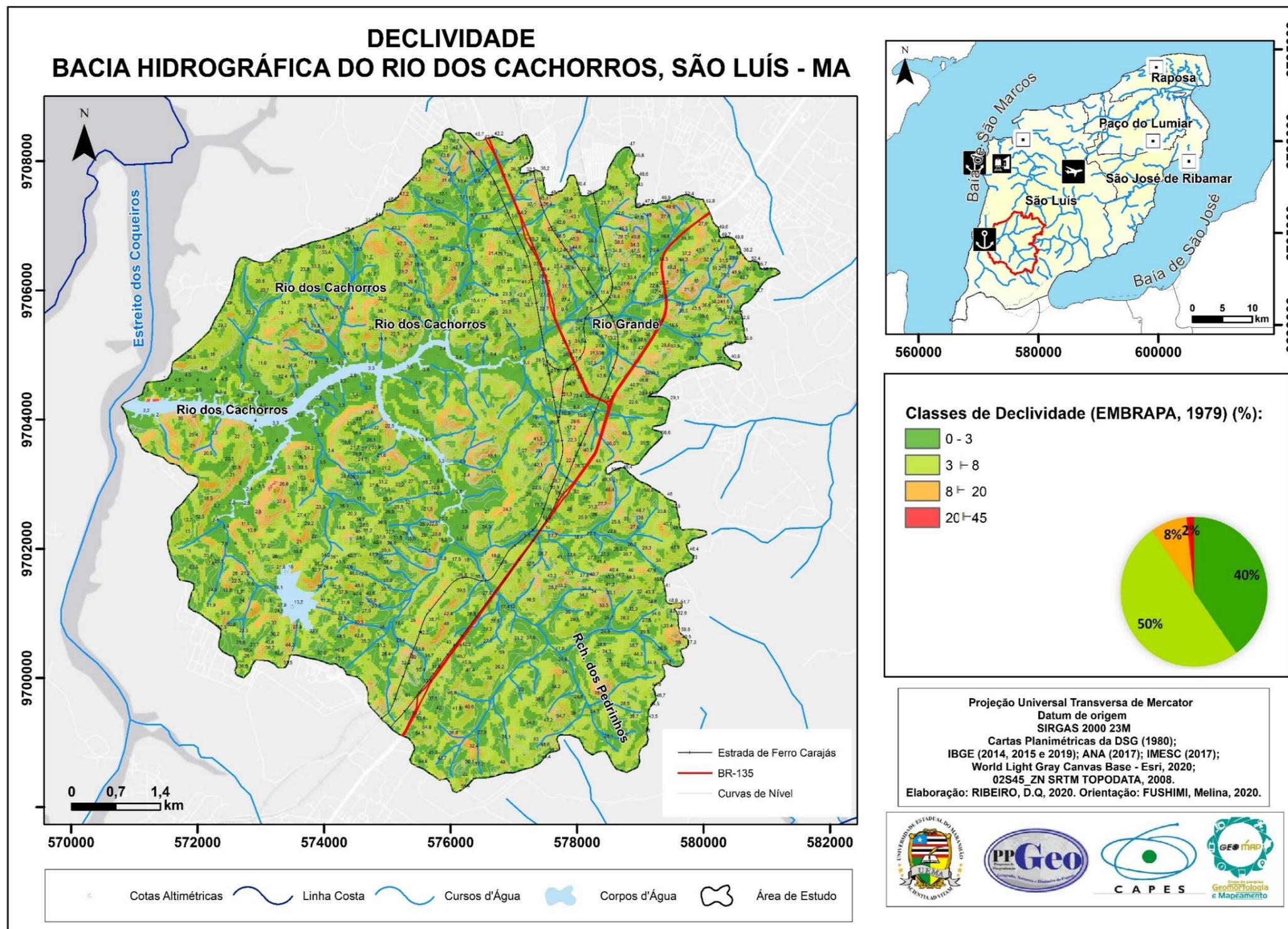
O mapa hipsométrico mostra a variação altimétrica da bacia hidrográfica. Nele se verifica que a área de cabeceira com a nascente do rio principal encontra-se em altitudes elevadas (50 a 58 metros), e a área de foz da bacia encontra-se em baixas altitudes (1 a 10 metros).

O perfil topográfico A – B, sentido leste – oeste, começou aproximadamente com 23 metros e terminou com aproximadamente 53 metros. O perfil topográfico C – D, sentido norte – sul, iniciou com uma cota altimétrica aproximada de 44 metros e foi finalizado em aproximadamente em 57 metros.

As características hipsométricas e clinográficas influenciam os distintos usos e ocupações na bacia hidrográfica, assim como apresentam diferentes formas de escoamento. A declividade tem influência direta entre o escoamento superficial e a infiltração.

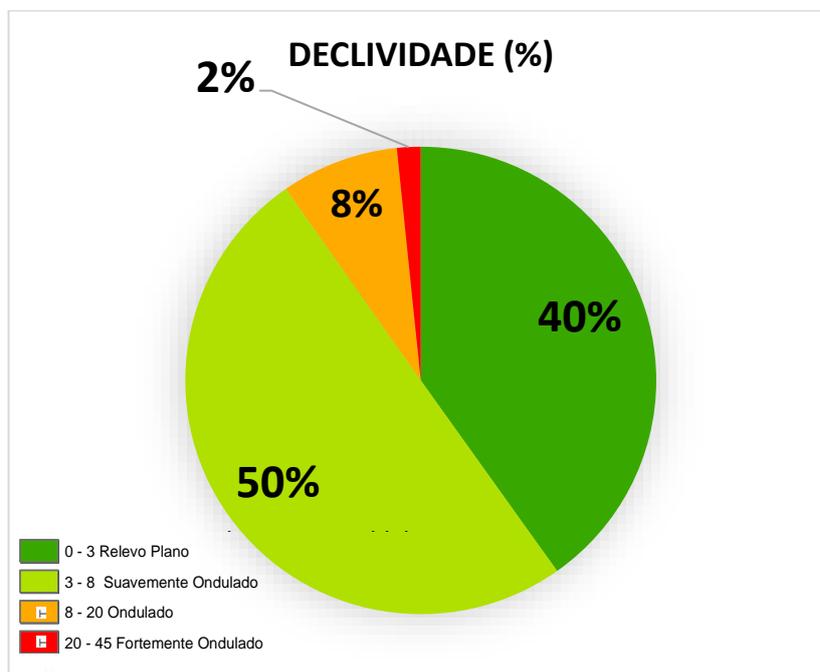
Foi percebido que a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros apresenta uma declividade plana (40% da área total) a fortemente ondulada (apenas 2% da área total), tendo como dominância a suavemente ondulada (Mapa 11 e Gráfico 11).

Mapa 11 – Declividade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INPE (2008). Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 11 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.



Fonte: INPE (2008).

Adaptado de EMBRAPA (1979).

Elaborado pela autora (2020).

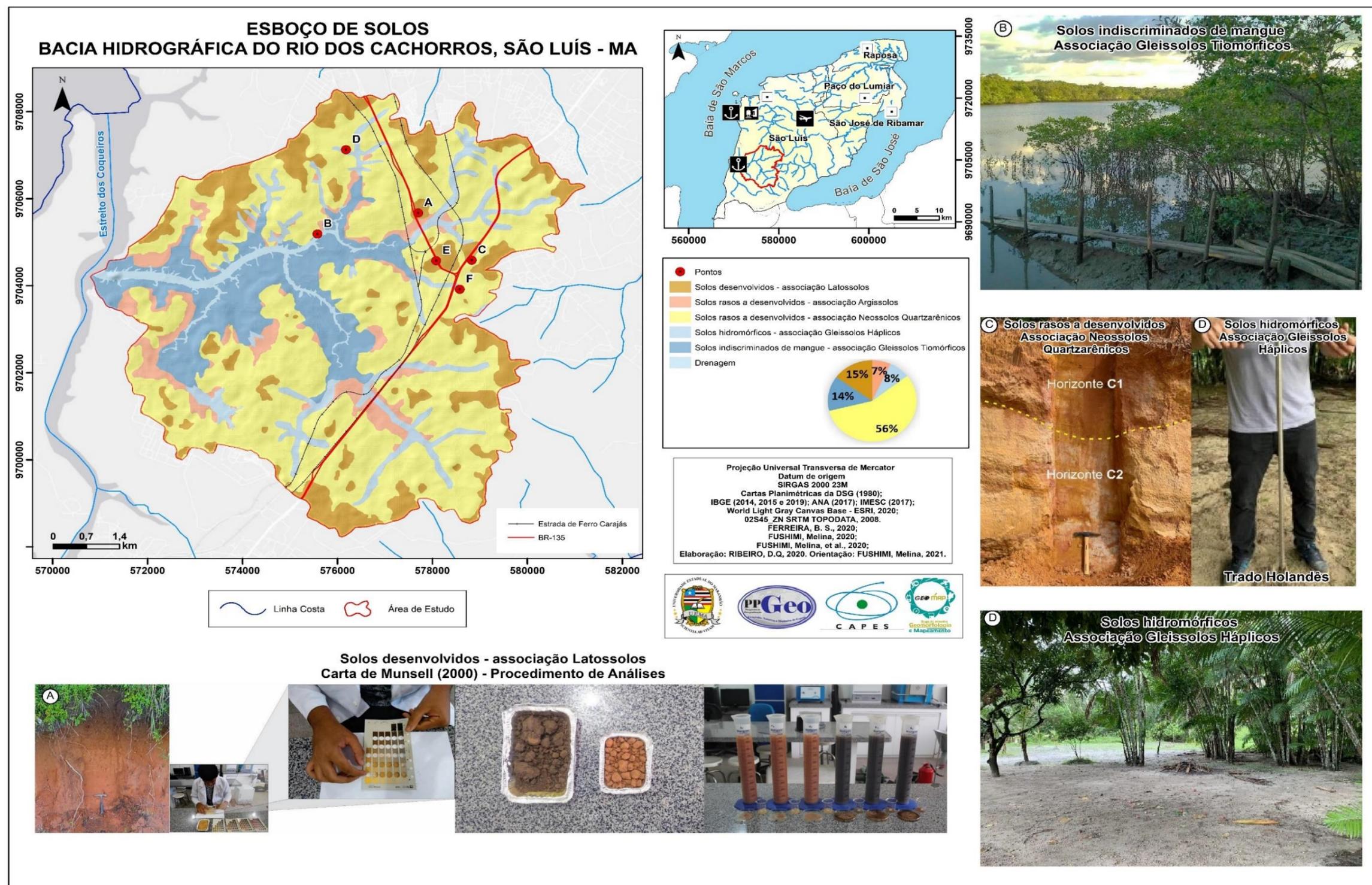
A declividade variou de 0 (Relevo Plano), a 39% (Fortemente Ondulado), com média 4% (Suavemente Ondulado), conforme as classes adaptadas de Embrapa (1979), características típicas de um ambiente costeiro.

Em resumo, o estudo sobre a hipsometria, a declividade, bem como as formas de curvaturas da superfície e unidades de relevo contribuem para o entendimento dos processos ambientais que sofrem influência das forças gravitacionais.

5.1.4 Solos

No que diz a respeito à solos, compreende-se sobre as características dos tipos de solos, principalmente se são mais ou menos passíveis de erosão. Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros ocorrem: Solos rasos a desenvolvidos - associação Argissolos, Solos Hidromórficos - associação Gleissolos Háplicos, Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênicos, Solos indiscriminados de Mangue - associação Gleissolos Tiomórficos e Solos desenvolvidos - associação Latossolos, dados pertencentes ao esboço de solos de Fushimi (2020) (Mapa 12).

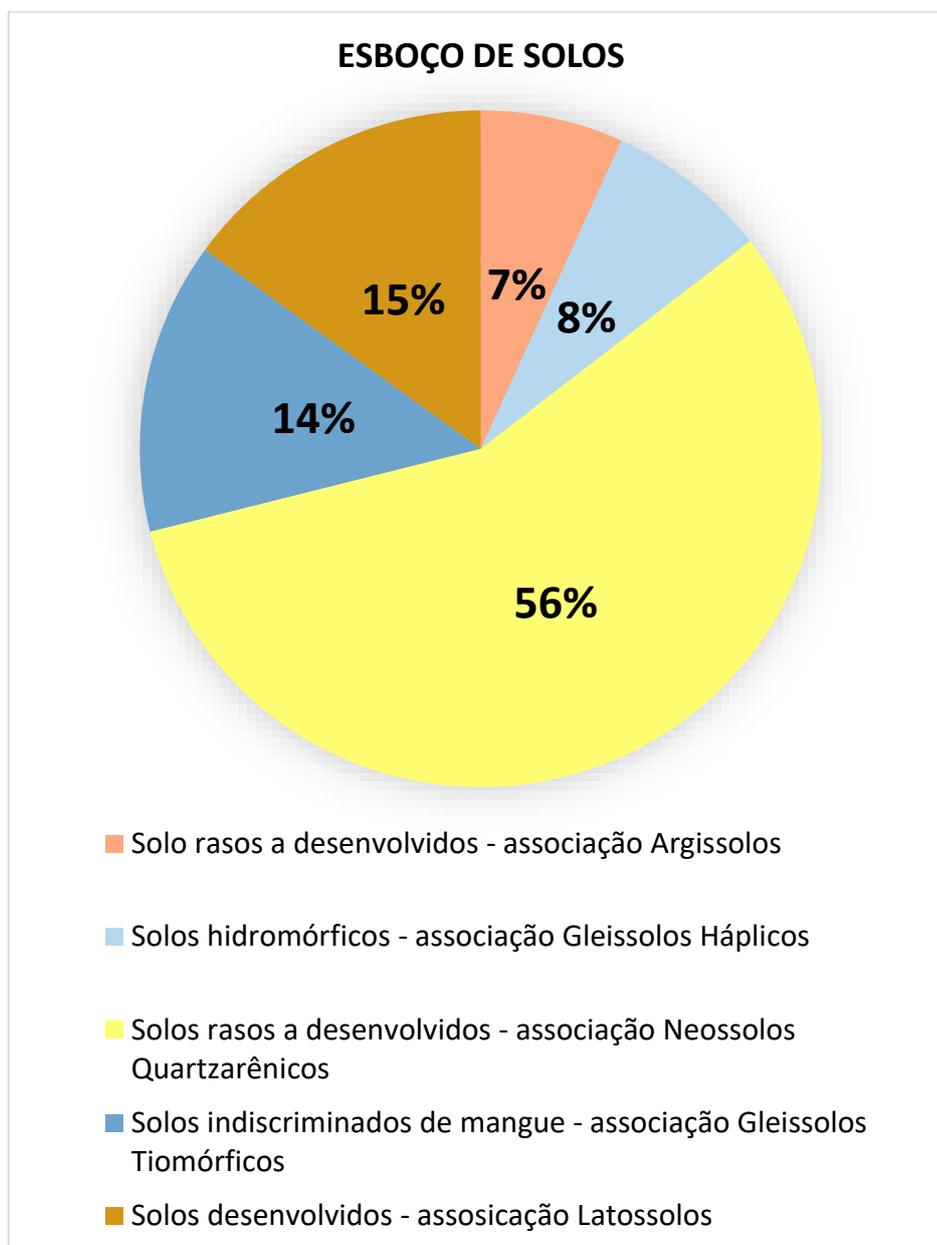
Mapa 12 – Esboço de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: FERREIRA, B. S., 2019; FUSHIMI, 2020; FUSHIMI, *et al.*, 2020. Elaborado pela autora (2020).

Quanto a distribuição dessas classes na área de estudo, a maior parte é constituída pelos Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênico (56%), seguido pelos Solos desenvolvidos - associação Latossolos (15%), pelos Solos indiscriminados de mangue - associação Gleissolos Tiomórficos (14%), pelos Solos Hidromórficos - associação Gleissolos Háplicos (8%), e pelos Solos rasos a desensenvolvidos - associação Argissolos (7%), conforme representa o gráfico a seguir (Gráfico 12):

Gráfico 12 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Fushimi (2020).
Elaborado pela autora (2020).

Em relação aos Neossolos, segundo a EMBAPA (2018, p. 96):

Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta 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 químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos

Os Latossolos são “[...] constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico” (EMBRAPA, 2018, p. 93).

No que se refere a Gleissolos, de acordo com a EMBRAPA (2018, p. 91 - 92):

Compreendem solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização) ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos. Não apresentam textura exclusivamente arenosa em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico ou lítico fragmentário, tampouco horizonte vértico em posição diagnóstica para Vertissolos. Horizonte plânico, horizonte plíntico, horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico, se presentes, devem estar à profundidade superior a 200 cm a partir da superfície do solo.

No tocante aos Argissolos:

Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, p. 86 – 87).

Foi realizada duas coletas no ponto A e foi feito a classificação de cor segundo a de Carta de Munsell (2000), nas amostras secas, também foi realizada análises texturais e morfológicas, procedimentos e resultados apresentados em Ferreira (2020). O perfil desse solo “[...] é formado por um horizonte Ap e um horizonte B, consecutivamente, cujo solo é desenvolvido e associa-se aos Latossolos (FERREIRA, 2020, p. 47).

Segundo Ferreira (2020, p. 47), o perfil pedológico encontrado nesse ponto “[...] se apresenta visivelmente alterado, sendo esse fenômeno visível principalmente pela presença de resíduos sólidos. Foi possível identificar ainda, indícios de erosão linear e laminar no ponto de coleta”

No mais, esse ponto A:

Quando se trata da classificação textural das amostras coletadas nesses horizontes, os resultados apontaram que tanto o horizonte A, quanto o horizonte B, apresentam como classe textural a “Areia Franca”. Ambos apresentam cores distintas, sendo Bruno (10YR 4/3) a cor do horizonte A, e Bruno-Forte (7.5YR 5/8) para o horizonte B. Ambas as amostras possuem o predomínio de areia, sendo 821,5 g.kg-1 para o horizonte A, 837,7 g.kg-1 para o horizonte B (FERREIRA, 2020, p. 47).

Os resultados do fracionamento da areia para o perfil pedológico do ponto A, é “[...] que a areia muito fina se apresenta em maior quantidade, sendo 41,43 g.kg-1; 38,75 g.kg-1, nos horizontes A e B, respectivamente” (FERREIRA, 2020, p. 49). Os resultados desse fracionamento indicam:

[...] Que as frações Areia muito grossa e grossa são pouco representativas nos horizontes. Destaca-se a presença de areia média e muito fina, o que demonstra o quanto o ponto as amostras foram coletadas é vulnerável e frágil, influenciando diretamente na dinâmica dos processos erosivos, já que essas partículas menores são mais facilmente transportadas pela água e pelo vento (FERREIRA, 2020, p. 49).

Com relação ao ponto B, com a presença de Solos indiscriminados de mangue - associação Gleissolos Tiomórficos, não foram realizadas coletas de amostras, realizou-se apenas a observação das classes do relevo, vegetação e processos erosivos presentes da área, assim como nos pontos E e F (FERREIRA, 2020).

Nos pontos C e D (Solos Rasos a Desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos e Solos Hidromórficos - associação Gleissolos Háplicos, nessa ordem) foram realizadas análises laboratoriais físicas e químicas, esses procedimentos e resultados são apresentados em Fushimi et. al (2020). Resumidamente, os resultados para esses pontos demonstraram que:

[...] Os solos são moderadamente a fortemente ácidos e arenosos, indicando valores superiores a 872 g.Kg-1 de areia e classes texturais “Areia” e “Areia franca”. O solo raso a desenvolvido apresenta-se degradado diante da atividade de extração mineral. Conseqüentemente, a vegetação e o horizonte superficial foram removidos com baixa presença de matéria orgânica no solo. O solo hidromórfico, sob formação vegetal secundária, detém maior quantidade de matéria orgânica (FUSHIMI *et. al.*, 2020, p.4).

No mais, no levantamento sobre os depósitos tecnogênicos da bacia hidrográfica do rio dos cachorros, realizado por Ferreira (2021), permite ter um entendimento mais detalhado sobre a situação da bacia em relação às modificações

oriundas do uso da terra e da evolução dos solos.

Com base nesses princípios, os levantamentos e mapeamentos dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros são essenciais ao uso sustentável das terras. Segundo Ferreira e Fushimi (2021), é essencial o estudo do solo no âmbito do planejamento ambiental, a fim de que se possa controlar diversos fenômenos ambientais, como os de degradação, tal qual os processos erosivos, visto que estes têm origens naturais, porém são intensificados pelos usos da sociedade. Nesse sentido, é perceptível que as relações entre natureza e sociedade influenciam diretamente e indiretamente as características não só dos solos, mas como de todos os aspectos geoambientais.

5.1.5 Análise Pluviométrica

As características climatológicas são essenciais para esta dissertação, principalmente em relação a erosividade ocasionada pelas chuvas. Segundo Ayoade (1996), o clima tem relação direta com a fauna, a flora, os solos e as rochas de um ambiente. Logo, em uma análise sobre fragilidade ambiental e perdas de solos de uma bacia hidrográfica, é imprescindível o estudo da pluviosidade.

A pluviosidade foi analisada na escala de São Luís, visto que a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na Ilha do Maranhão está localizada na Reserva do Itapiracó, localizado a cerca de 16 km da bacia do rio dos Cachorros.

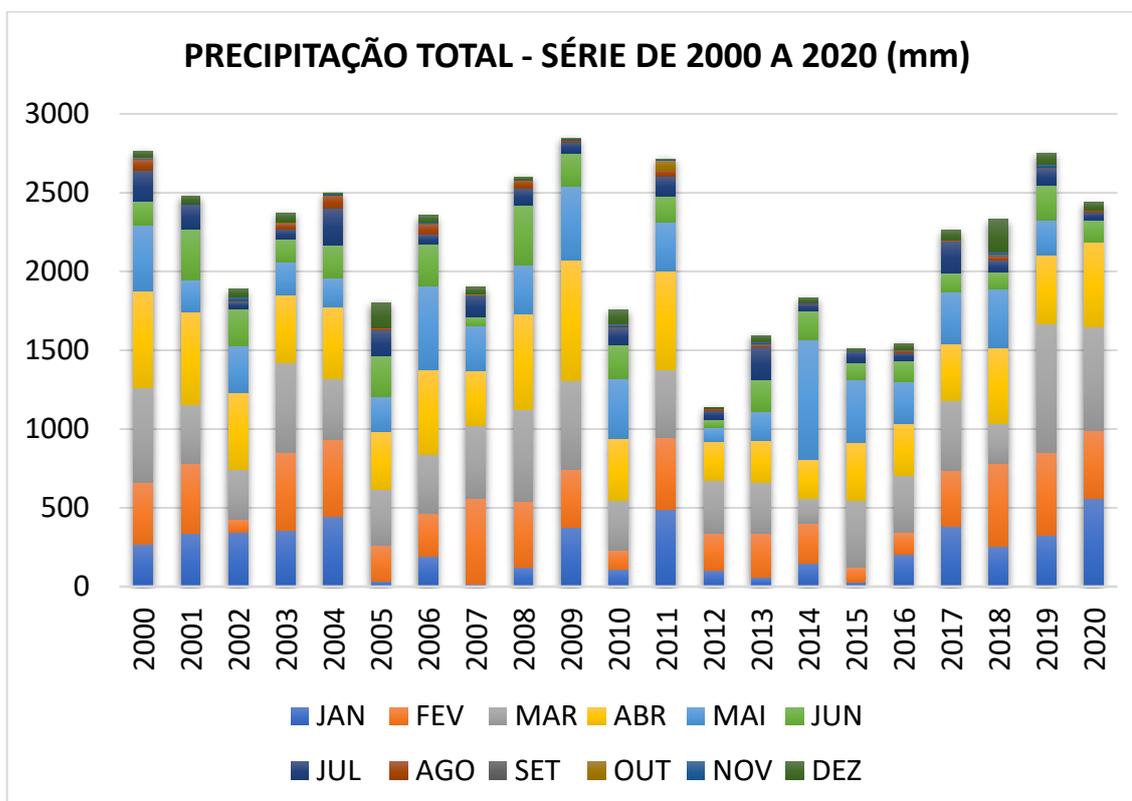
A Ilha do Maranhão está localizada na área de transição climática do semiárido nordestino e tropical úmido amazônico. Apresentando uma sazonalidade da chuva bem característica, um período chuvoso de janeiro a junho influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e um período seco de julho a dezembro, de acordo com a classificação de Köppen (STRAHLER, 1960). Dessa forma, nos meses de janeiro a junho há o aumento dos fluxos de água, conseqüentemente do escoamento superficial e subsuperficial.

Segundo Feitosa e Trovão (2006), a Ilha do Maranhão possui uma temperatura média anual superior a 27°C, uma precipitação pluviométrica anual entre 1.600 e 2.400 mm, uma umidade relativa do ar anual superior a 82% e um clima úmido (B¹). Esse clima é caracterizado por “apresentar altas temperaturas médias anuais, baixa amplitude térmica, com moderada deficiência hídrica nos meses de julho a setembro, totais pluviométricos entre 1500 e 2000 mm e umidade relativa do ar superior a 70%”

(FEITOSA; TROVÃO, 2006, p. 79).

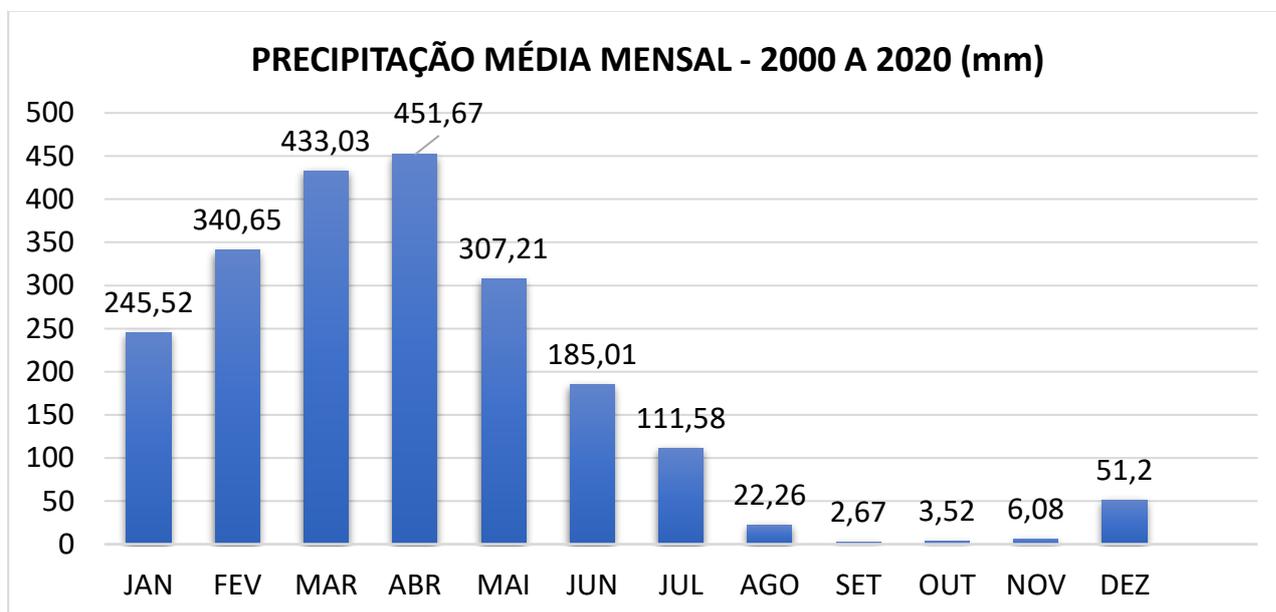
Na análise da série temporal dos dados climatológicos do período de 2000 a 2020 (Gráfico 13), de São Luís, do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do INMET (2020), é possível observar a sazonalidade da chuva que foi citada anteriormente. Além disso, com base nessa referência, é perceptível que no período chuvoso os meses de março e abril são os que possuem as maiores taxas de precipitação.

Gráfico 13 – Precipitação Total, Série de 2000 a 2020, São Luís – MA



Segundo os dados do INMET (2020), em São Luís os anos de 2000, 2009, 2011 e 2019 são anos excepcionalmente chuvosos com o acumulado pluviométrico anual de 2765,20, 2874,80, 2713,30 e 2753,00 mm respectivamente. Na série de dados de 2000 a 2020, o valor da precipitação média mensal de variou de 2,67 a 451,67 mm (INMET, 2020), assim como apresentado no Gráfico 14.

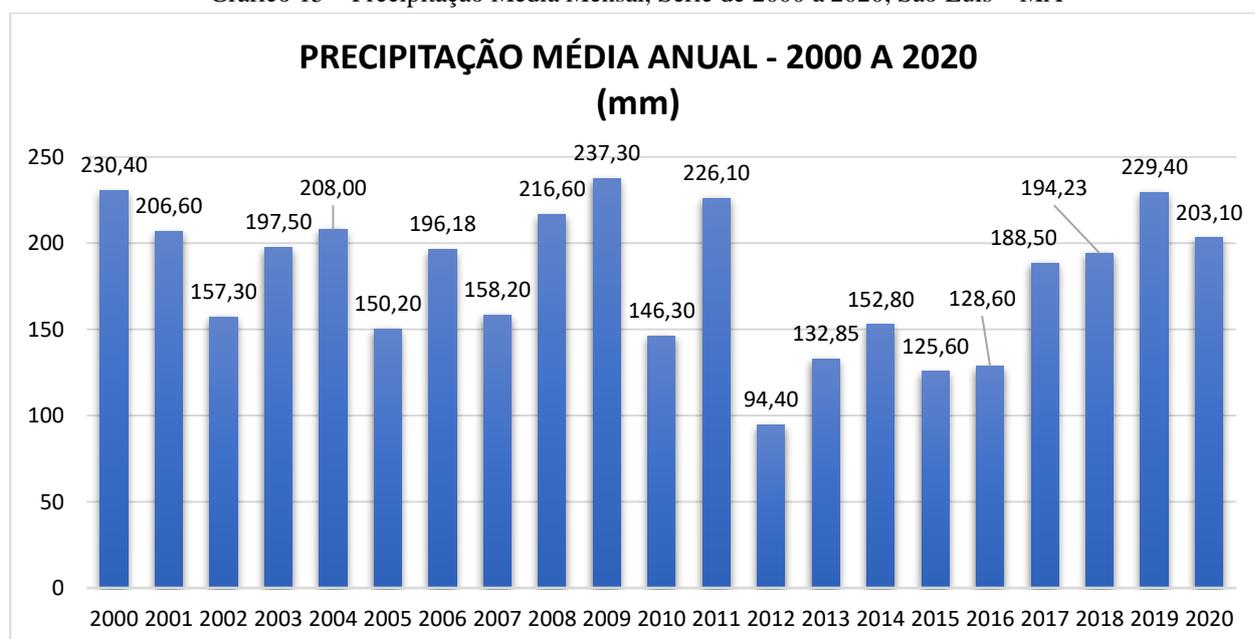
Gráfico 14 – Precipitação Média Mensal, Série de 2000 a 2020, São Luís – MA



Fonte: INMET (2020).
Elaborado pela autora (2020).

Além disso, os dados referentes a precipitação média anual (Gráfico 15), na série de dados de 2000 a 2020, em São Luís, esse elemento variou de 94,40 a 237,30 mm.

Gráfico 15 – Precipitação Média Mensal, Série de 2000 a 2020, São Luís – MA



Fonte: INMET (2020).
Elaborado pela autora (2020).

No mais, no período chuvoso as temperaturas da Ilha são mais amenas, enquanto no período de estiagem há uma maior incidência solar, consequentemente temperaturas mais elevadas (MARANHÃO, 2002).

No que se refere aos ventos da Ilha, eles são de origem regional e local, os de origem regional são os ventos alísios e ocorrem durante todo o ano, os de origem local são ocasionados por grandes massas d'água em proximidade com a superfície terrestre (PINHEIRO, 2017).

Para mais, o processo de urbanização acarreta diversas consequências à sociedade, bem como desconforto térmico, assim como notado em São Luís, que é gerado principalmente em decorrência da subtração de áreas verdes. Além disso, a impermeabilização dos solos altera diretamente o processo de infiltração da água, afetando todo o ciclo hidrológico e produzindo o aumento do escoamento superficial, por conseguinte propiciando os processos erosivos, bem como inundações, alagamentos, dentre outros elementos, aumentando a fragilidade do ambiente.

Nesse sentido, de acordo com Araújo e Rangel (2012, p. 309), as alterações desenvolvidas no clima em escala local mostram-se sobretudo em:

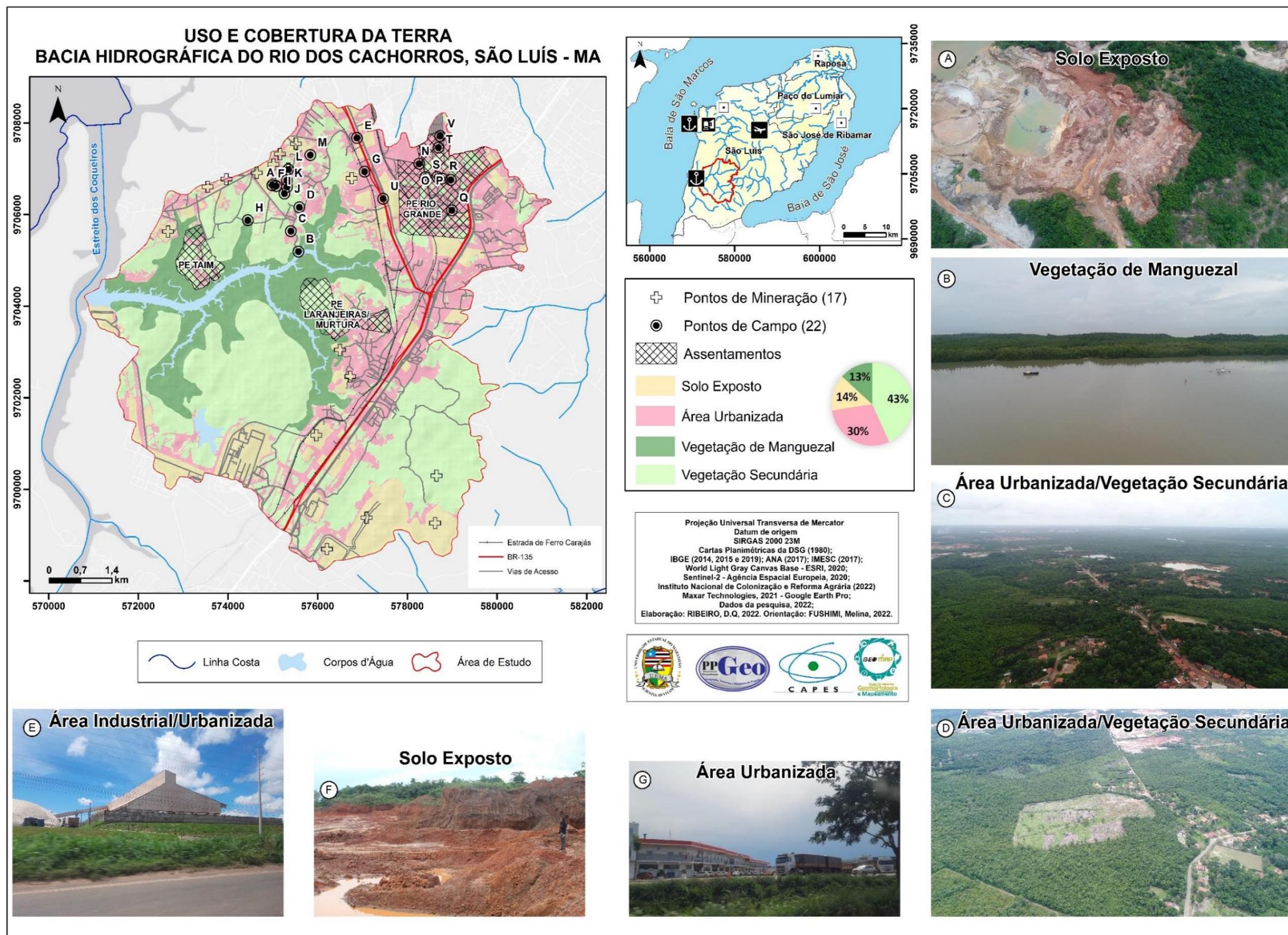
[...] Alterações na temperatura e umidade, direção e intensidade dos ventos, na qualidade do ar, níveis de conforto térmico, relação direta com disseminação de vetores de doenças, impactos pluviais e ainda através de outros efeitos indesejáveis capazes de intervir de forma danosa no funcionamento da cidade, prejudicando a qualidade de vida dos seus usuários.

Em resumo, é possível afirmar que o estudo da pluviosidade e das características climáticas são fundamentais para uma compreensão mais detalhada do ambiente. Além disso, segundo Oliveira (2014, p. 62), para ocorrer a erosão laminar é “[...] necessário que um certo limiar de velocidade seja ultrapassado [...]”, tal como “[...] depende, entre outros fatores, da geração de fluxos de chuva, e sua escala temporal de atuação depende da duração e da intensidade dos eventos chuvosos (OLIVEIRA, 2014, p. 62).”

5.1.6 Uso e Cobertura da Terra

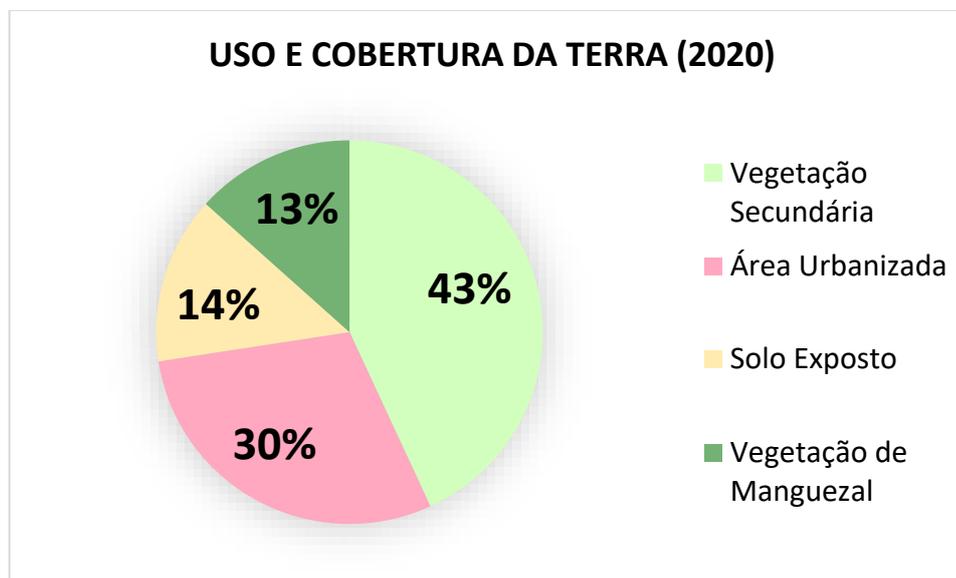
O uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é formado por: Vegetação Secundária (43%), Área Urbanizada (30%), Solo Exposto (14%), associado à área industrial e as áreas de mineração, Vegetação de Manguezal (13%), classes essas extraídas da imagem de satélite *Sentinel-2* de 2020, como pode ser observado no Mapa 13 e Gráfico 16.

Mapa 13 – Uso e Cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2020), São Luís – MA



Fonte: Sentinel-2 (2020), Maxar Technologies (2021) e Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Gráfico 16 – Distribuição do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2020), São Luís – MA



Fonte: *Sentinel-2* (2020) e *Maxar Technologies* (2021).

Elaborado pela autora (2021).

Em trabalhos de campo foi possível fazer a verificação dessas classes e entender o comportamento desses agentes sociais na bacia. Além da imagem citada, foi necessário consultar a imagem de satélite *Maxar Technologies* de 2021 do *Google Earth Pro*[®] como também forma de verificação desses usos.

De acordo com Moura (2015, p. 1), “quando as primeiras indústrias surgiram, os problemas ambientais eram de pequena dimensão [...]”, já na revolução industrial a fumaça era o símbolo do progresso. À vista disso, a preocupação com o ambiente começou a ganhar destaque somente a partir das últimas décadas, assim como posto por Oliveira (2012).

Segundo Castro e Santos (2012, p. 4), “as modificações do uso e ocupação da terra na bacia do rio dos Cachorros ocorreram de forma gradual e intensa nas três últimas décadas”. De acordo com os autores supracitados, “em meados dos anos 80 a região da bacia era predominantemente rural, com uma grande área verde e extenso manguezal.”

Atualmente, a urbanização sobre a bacia está em expansão, sendo ocupada por diversas empresas e indústrias, as áreas verdes estão sendo progressivamente pressionadas pela urbanização e pela industrialização da bacia, possuindo grandes áreas de extração mineral, por conseguinte existem diversas áreas expostas aos agentes intempéricos.

Para mais, além das comunidades anteriormente citadas, existem três

assentamentos registrados no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2022), que ocupam a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros que são os Projeto de Assentamento Estadual (PE): PE Laranjeiras / Murtura, com 1,20 km², PE Rio Grande, com 3,21 km² e PE Taim, com 0,87 km².

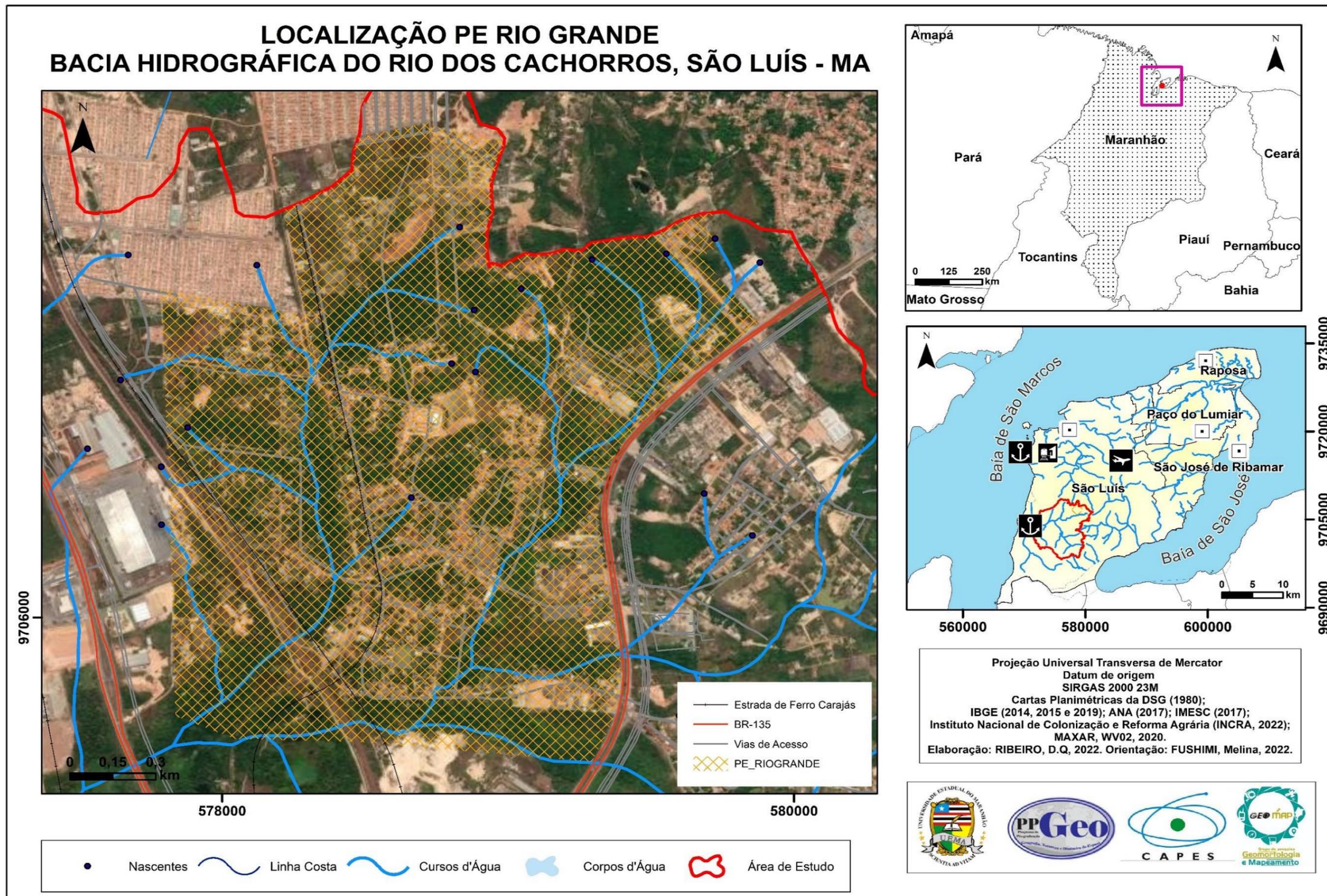
Nos trabalhos de campo realizados em fevereiro de 2022, houve uma aproximação com o assentamento Rio Grande (Foto 13) (Mapa 14), no qual os moradores pediram ajuda da universidade para tentar solucionar problemas, como o descarte incorreto de resíduos, bem como o desmatamento realizado por alguns moradores, havendo conflitos internos em relação ao cuidado com o ambiente. Foi narrado também a presença do esgoto nos corpos d'água, oriundos de residenciais próximos, dentre outros fatores apontados pelos líderes do local.

Foto 13 – Assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Mapa 14 – Assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: INCRA (2022) e Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Além disso, em conversa com as pessoas do assentamento, foi relatado que elas possuem pequenas plantações e possuem interesse em expandi-las, como forma de sustento e de proteção aos corpos d'águas remanescentes, apesar da pressão dos grandes empreendimentos.

No momento seguinte a esses relatos, realizou-se a ministração de uma palestra ambiental (Foto 14), com a comunidade, sobre a importância dos corpos d'água, a importância de realizar o descarte correto de resíduos, as consequências do desmatamento, a importância da vegetação, e a explicação sobre os processos erosivos presentes no assentamento.

Além disso, foi explicado sobre a bacia hidrográfica que essa população está inserida, tal como foi disponibilizado o mapa de localização do assentamento, pois as pessoas desconheciam a bacia que fazem parte também, foi discutido e disponibilizado um panfleto (Figura 30), com algumas orientações básicas para o cuidado com o ambiente.

Foto 14 – Palestra ambiental com o assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Figura 30 – Panfleto explicado e disponibilizado para o assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA



Elaborado pela autora (2022).

No panfleto acima foi apresentado comportamentos do dia a dia que podem ser adotados pelas pessoas residentes do assentamento Rio Grande para melhorar a sua relação com o ambiente. Apesar que logicamente que comunidades como essa impactam bem menos o ambiente que as grandes mineradoras que são atuantes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

Somado a isso, o contato com esse assentamento foi de suma importância para entender as dinâmicas que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Cachorros, sobretudo a relação da população com o ambiente. Ficou firmado verbalmente acordos para se retornar a esse local, a fim de elaborar projetos que possam ajudar essa população, como planos que envolvem reflorestamento, educação ambiental, dentre outros, assim como trazer os resultados das pesquisas realizadas na bacia.

Para além, apesar do descarte que vem sendo realizado nos corpos d'água, e os impactos dos usos que acarretaram a degradação de canais e nascentes, ainda existem canais localizados no assentamento Rio Grande que podem ser preservados como o da Foto 15, tal como diversos outros cursos d'água na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

Foto 15 – Corpo d'água localizado no assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Nos trabalhos de campo foi possível observar que os principais problema na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros são o descarte incorreto de resíduos sólidos, a retirada da vegetação e o saneamento básico precário (Foto 16), oferecido a população.

Foto 16 – Esgoto estourado, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Nesse contexto, segundo Santos, Fushimi e Silva (2020, p. 164), as nascentes localizadas no bairro Rio Grande estão sendo impactadas pelos usos, sendo possível observar o:

[...] Desmatamento da mata ciliar, soterramento das nascentes, compactação do solo, construções e instalações irregulares no compartimento da planície fluvial e contaminação/poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo descarte de resíduos sólidos e líquidos.

Em campo, identificou-se vários pontos de descarte de resíduos sólidos (Foto 17), compostos sobretudo por materiais de plástico, como garrafas e sacolas, além de garrafas de vidro, localizados tanto planície de maré da bacia, quanto nos demais compartimentos de relevo, como tabuleiros e colinas esparsas.

Foto 17 – Descarte de resíduos sólidos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Foto 18 – Descarte de resíduos sólidos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2022), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2022).

Foi notado também a ocupação dos processos erosivos por pessoas desfavorecidas economicamente, pois como supracitado, os segmentos mais pobres estão mais expostos a riscos ambientais.

Nesse sentido, o crescimento urbano e populacional não acompanhado pela oferta de habitações, levam as pessoas a instalarem habitações (Foto 19) nessas áreas de

erosão da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, assim como supradito por Ferreira (2020).

Foto 19 – Moradias observadas próximo a ravina na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2020), São Luís – MA



Fonte: Ferreira (2020).

Por conseguinte, os processos erosivos frequentemente são usados pelas pessoas como pontos de descarte de resíduos sólidos e rejeitos, assim como pode ser verificado na Foto 20.

Foto 20 – Rejeitos em processo erosivo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Esses principais impactos notados na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros são característicos do crescimento urbano, porém já foi supracitado a importância da vegetação, e como ela diminui o impacto da erosão no solo e protege os recursos hídricos (Foto 21) , mas apesar da existência das formações vegetais, parte delas foram substituídas pelos usos da terra, em razão do processo de urbanização de São Luís.

Foto 21 – Planície fluvial de um afluente “protegido” pela vegetação, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Ainda acerca do uso e cobertura da terra, vale ressaltar a importância da vegetação do sistema manguezal (Foto 22), pois esse ecossistema possui função de equilíbrio ambiental, bem como é berçário para diversas espécies e é utilizado por algumas comunidades como sustento.

Foto 22 – Vegetação de Manguezal na planície de maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Para mais, muitas vezes a vegetação da área de estudo é retirada pelas mineradoras e empresas instaladas na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, ocasionando áreas expostas aos agentes intempéricos (principalmente vento e chuva).

Com relação as mineradoras, historicamente, a mineração no Brasil teve início com as expedições das entradas e bandeiras, entre os séculos XVII e XVIII, que adentraram o interior do país em busca de ouro e de outros minerais.

É notório que as atividades de extração mineral são importantes para o produto interno bruto de um país, em razão dos produtos derivados dos minerais estarem presentes no cotidiano de todos, mas é uma das mais degradantes atividades e possui diversos riscos ambientais.

A extração mineral que ocorre nessa bacia é em partes responsável pelo desenvolvimento econômico de São Luís, no entanto, essas atividades são comumente responsáveis pela intensificação dos processos erosivos da área de estudo. Basicamente, por um lado, existe a questão da aplicabilidade desses recursos na sociedade, e por outro essa atividade provoca degradação, bem como diversos riscos ambientais.

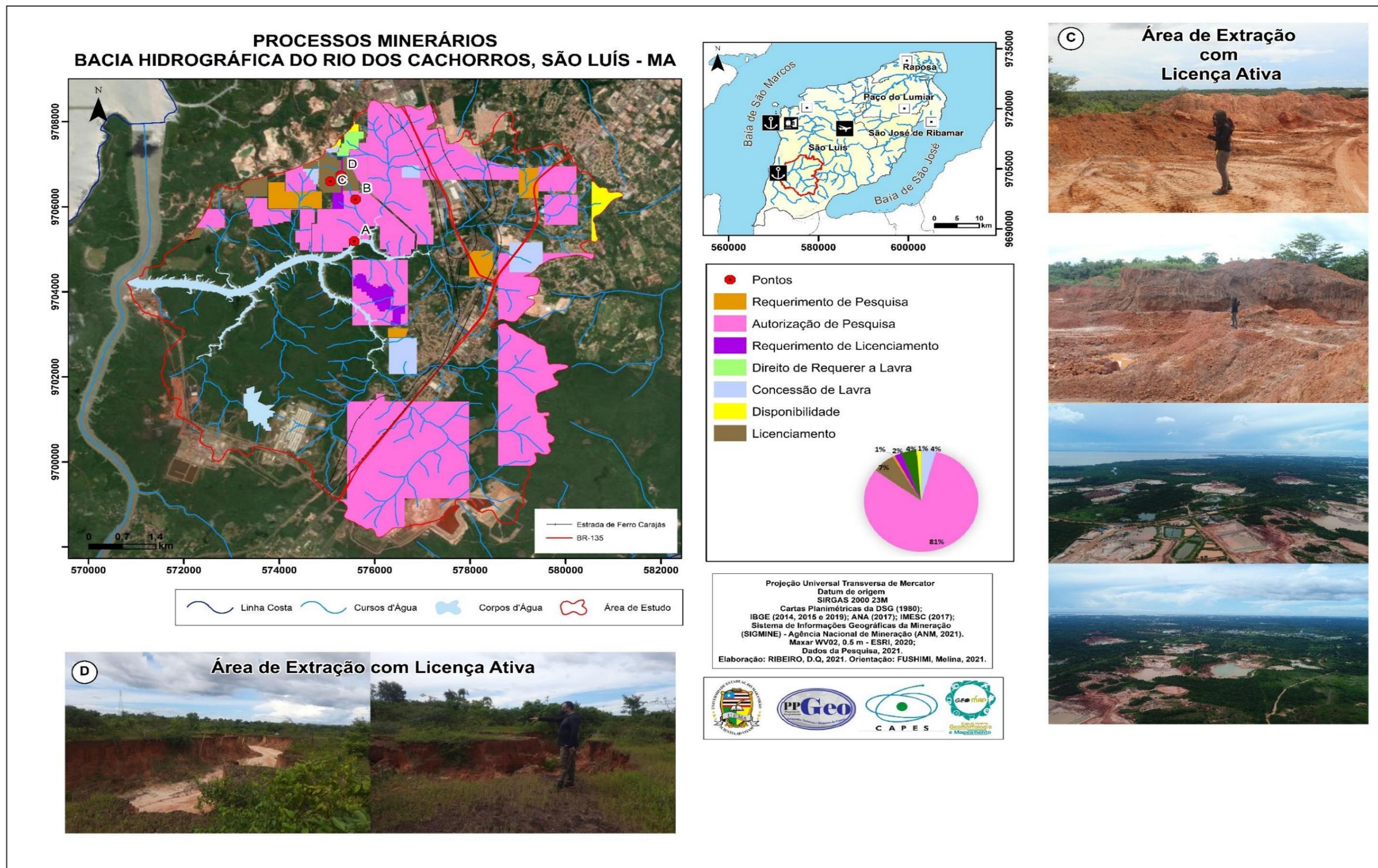
Para mais, as áreas de extração mineral são comumente identificadas como áreas degradadas, pois o ambiente não se regenera sozinho no tempo histórico, assim conforme afirma Corrêa (2006), tal como de acordo com a Instrução Normativa nº04/2011 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2011).

Nesse sentido, “para recuperar centímetros de áreas degradadas são necessárias décadas, dependendo do tipo de minério extraído e da região isso pode levar, no mínimo, 30 anos e não há garantias de que o solo volte a ter o mesmo nível de fertilidade do que antes da exploração” (ROYO, 2010).

A respeito aos processos minerários analisados no presente trabalho, estes ocupam 27,71 km² da bacia e são referentes dos anos de 2005 a 2021, constituindo cerca de 49 processos na base de dados da área de estudo.

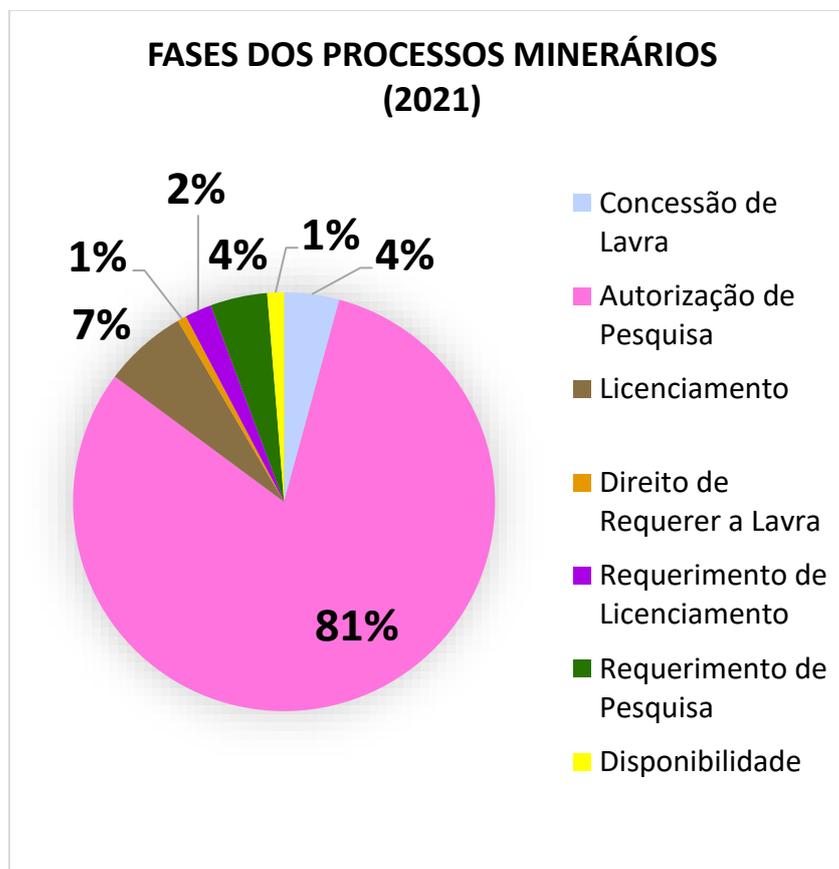
Em referência aos dados do Sistema de Informação Geográfica da Mineração (SIGMINE), da Agência Nacional de Mineração (ANM), para a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros foi identificado as fases dos processos minerários da área: Autorização de Pesquisa (81%), Licenciamento (7%), Requerimento de Pesquisa (4%), Concessão de Lavra (4%), Requerimento de Licenciamento (2%), Direito de Requer a Lavra (1%), e Disponibilidade (1%), como observado no Mapa 15 e Gráfico 17.

Mapa 15 – Processos minerários da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: SIGMINE - ANM (2021). Elaborado pela autora (2021).

Gráfico 17 – Distribuição das fases dos processos minerários da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte SIGMINE - ANM (2021).
Elaborado pela autora (2021).

Sobre essas fases, o requerimento de pesquisa mineral “[...] é um regime de aproveitamento mineral, para áreas que já se encontram livres na base de dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), (GEOINFORM AMBIETNAL, 2012?).

“A autorização de pesquisa é um regime de aproveitamento mineral em que são executados os trabalhos voltados à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da viabilidade de seu aproveitamento econômico.” (CRISTAL JR, 2020).

Com relação a fase de Requerimento de Licenciamento:

[...] pleiteia o registro de licença visando o aproveitamento mineral pelo regime de licenciamento, voltado para substâncias minerais destinadas ao emprego imediato na construção civil, no preparo de agregados e argamassas e os calcários empregados como corretivo de solo na agricultura, desde que não sejam submetidos a processo industrial de beneficiamento, nem se destinem como matéria-prima à indústria de transformação (GOVERNO DO BRASIL - GOV.BR, 2021?).

Segundo Pouchain (2011, p. 5), “a concessão de lavra seria um ato de outorga do direito de lavra e uso de bens públicos, por meio do qual se possibilita a apropriação

dos recursos minerais após a extração, como mera consequência de sua utilização.”

Sobre o direito de requerer a lavra, “[...] é realizado após a aprovação do relatório final de pesquisa da área e marca o fim da etapa de autorização de pesquisa mineral (GEOSCAN, 2021).

Quando um processo minerário é renunciado, desistido e/ou indeferido devido requerimentos, ele é destinado ao Regime de Disponibilidade e compete à ANM ofertar a referida área mediante o processo licitatório, com o objetivo de encontrar novos interessados (SANTOS, 2019).

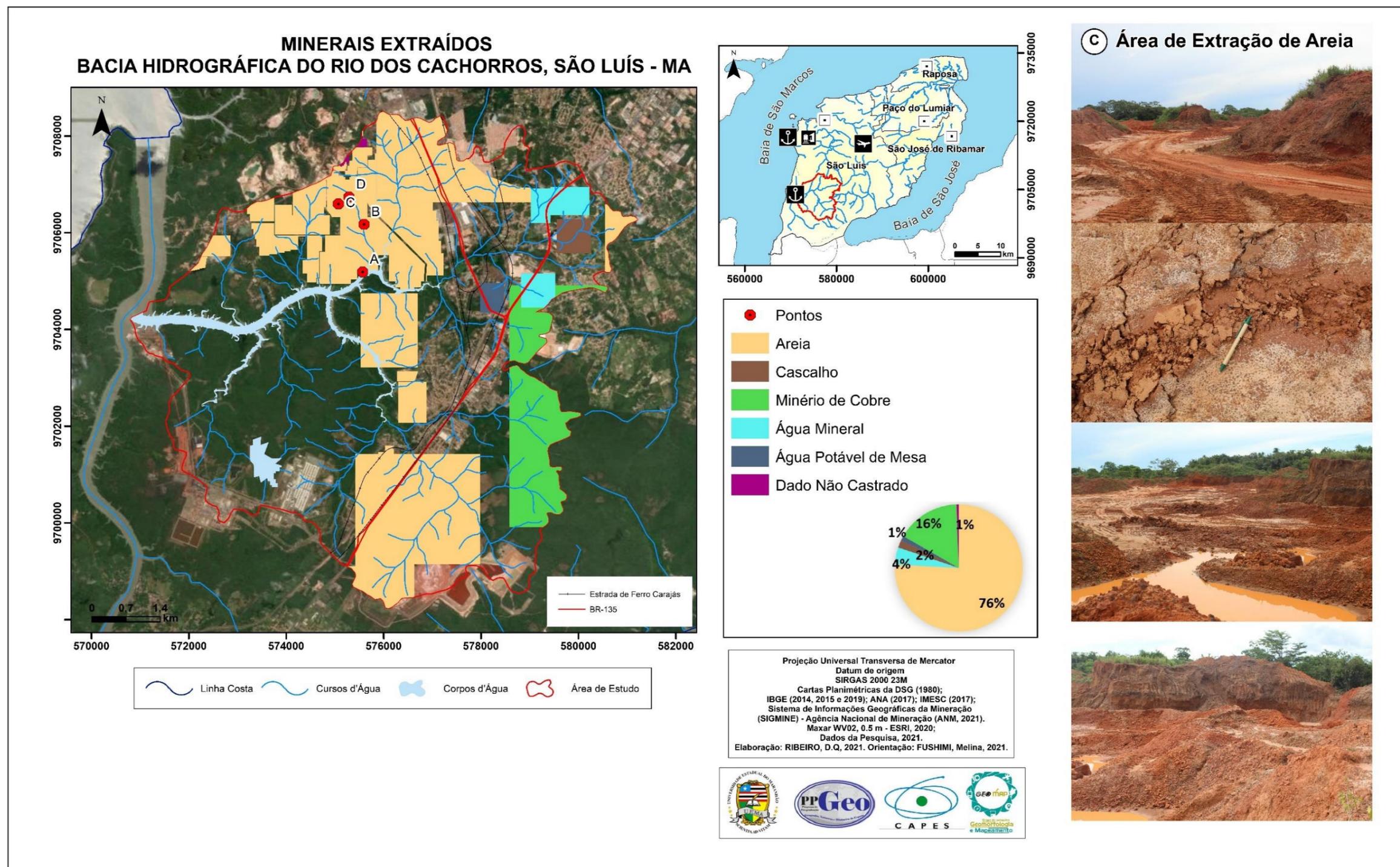
“O licenciamento é um regime de aproveitamento de substâncias minerais no qual é registrada na ANM, licença expedida em obediência a regulamentos administrativos locais, e que permite a extração de alguns bens minerais” (CRISTAL JR, 2020). O processo de licenciamento ambiental mineral pode ser analisado como um instrumento de gestão e planejamento do ambiente.

Nesse contexto, quem regulamenta a mineração, de acordo com o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018 (BRASIL, 2018) é a Agência Nacional de **Mineração** (ANM):

Art. 4º Compete à Agência Nacional de **Mineração** - ANM observar e implementar as orientações, as diretrizes e as políticas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia e executar o disposto no Decreto-Lei nº 227, de 1967 - Código de **Mineração**, e nas normas complementares.

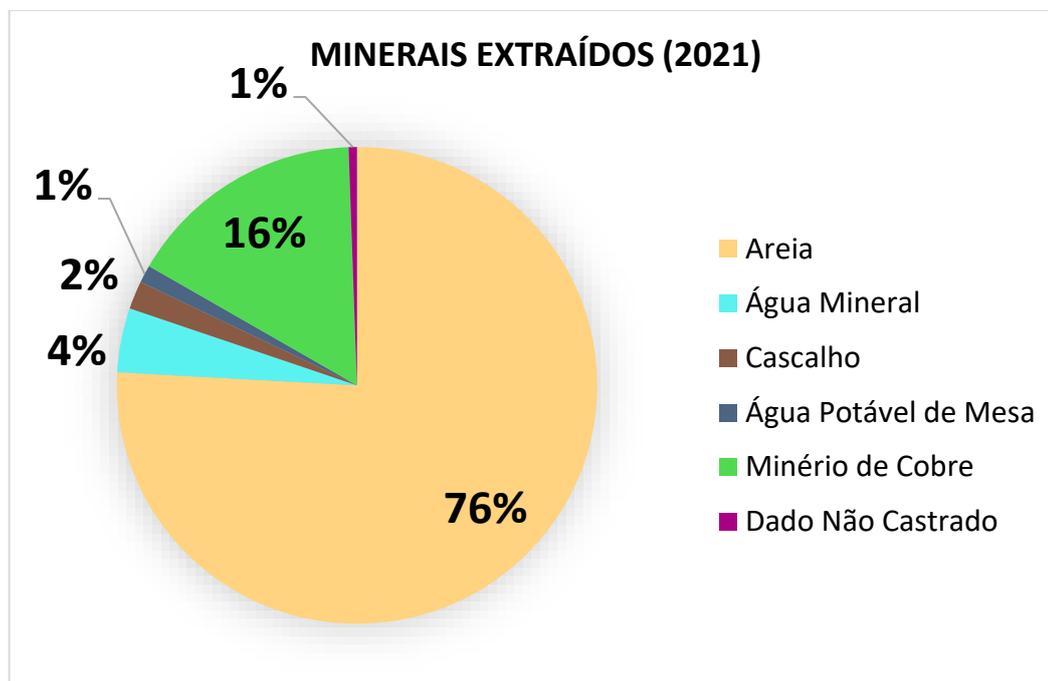
Ainda com base no sistema do SIGMINE da ANM, (2021), os processos minerários existentes na área de estudo extraem Areia (76%), Minério de Cobre (16%), Água Mineral (4%), Cascalho (2%), Água Potável de Mesa (1%), e Dado Não Cadastrado (1%), como indicado no Mapa 16 e Gráfico 18. Esses minerais nos fornecem materiais indispensáveis à fabricação de vários objetos.

Mapa 16 – Minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: SIGMINE - ANM (2021). Elaborado pela autora (2021).

Gráfico 18 – Distribuição dos minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



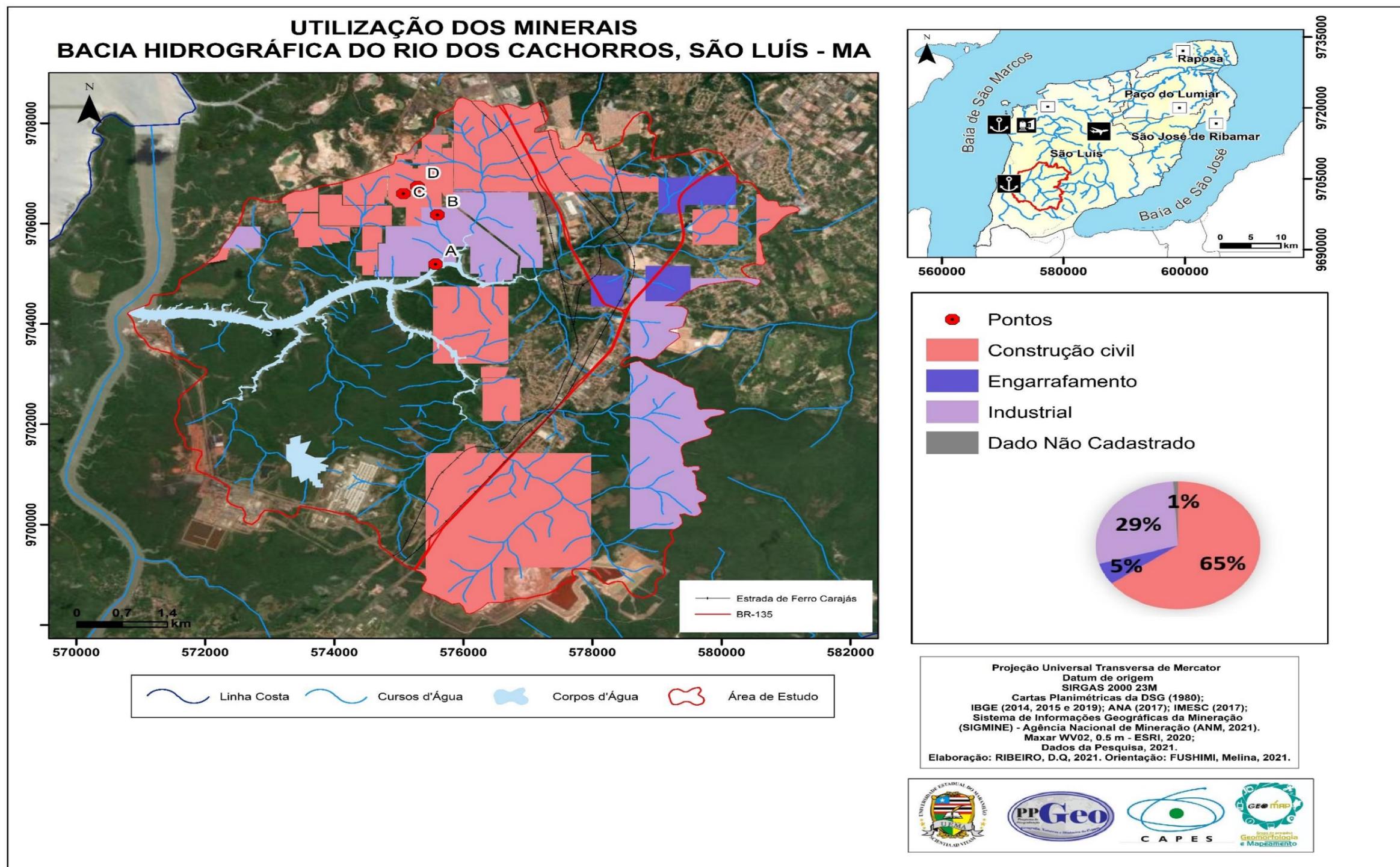
Fonte SIGMINE - ANM (2021).
Elaborado pela autora (2021).

Esses minerais são extraídos principalmente para ser utilizado pela construção civil.

Segundo o SIGMINE da ANM, (2021), esses minerais são destinados para uso: Construção Civil (65%), Industrial (29%), Engarrafamento (5%), e Dado Não Cadastrado (1%), como é representado no Mapa 17 e Gráfico 19.

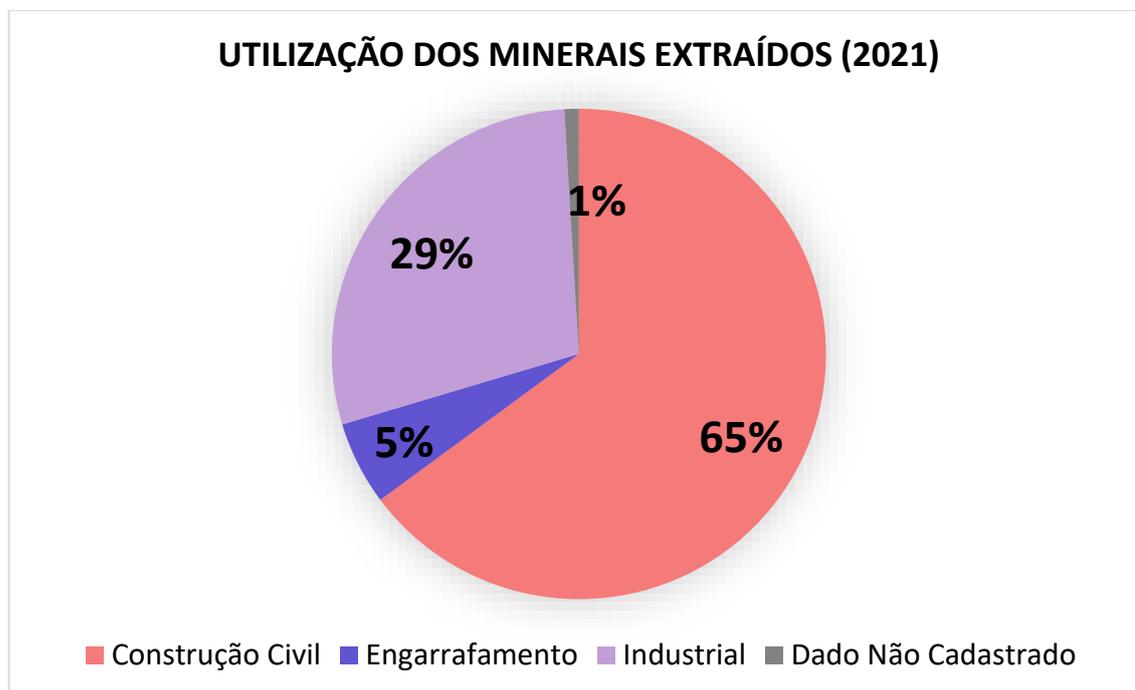
Assim, tem-se o predomínio de extração de areia destinada à construção civil e ao mercado interno de São Luís. Além do mais, essas áreas de extração mineral ocasionam solo exposto e, por conseguinte, o desenvolvimento de processos erosivos laminares e lineares.

Mapa 17 – Minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: SIGMINE - ANM (2021). Elaborado pela autora (2021).

Gráfico 19 – Utilização dos minerais extraídos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: SIGMINE - ANM (2021).

Elaborado pela autora (2021).

Nesse cenário, a remoção da cobertura vegetal diante dos processos minerários vem transformando a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, dado que a cobertura vegetal é a principal proteção contra a erosão. Em trabalhos de campo foi possível notar que a degradação presente nesses locais de mineração está relacionada principalmente com a intensificação dos processos erosivos.

Por fim, a questão ambiental na perspectiva do capital é vista como fundamental para decifrar, explorar, gerar e controlar a natureza, todavia, mesmo com esse sistema, é necessário a propagação da ideia do uso “consciente” dos recursos naturais e a sensibilização das pessoas com relação ao ambiente.

5.1.7 Processos Erosivos

A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, assim como proposto por Castro e Pereira (2012) e Fushimi (2020), é vulnerável aos processos erosivos do tipo sulcos, ravinas (Foto 23) e voçorocas em virtude de suas características ambientais. Vale reforçar que a erosão é um fenômeno natural, mas que é intensificado pelos usos da terra.

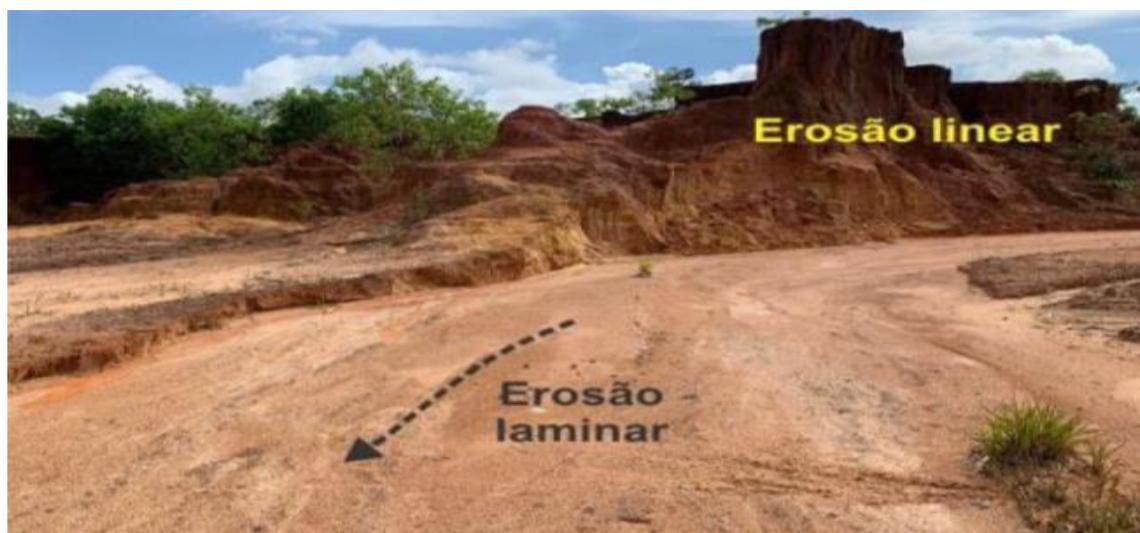
Foto 23 – Ravina na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Além disso, *in loco* constatou-se pontos de erosão laminar, mesmo sendo considerada uma erosão “oculta”. Na Foto 24, é visível a erosão linear e a laminar, assim como o sentido do escoamento superficial difuso da água da chuva, intensificados pela falta visível da formação vegetal.

Foto 24 – Erosão linear e laminar Ravina na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2019), São Luís – MA



Fonte: Fushimi *et al.* (2020).

Na área de estudo também foram encontrados a presença de sulcos (Foto 25), os sulcos, assim como as ravinas referem-se ao escoamento superficial concentrado (OLIVEIRA, 2011).

Foto 25 – Sulcos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2020), São Luís – MA



Fonte: Silva (2020).

Além de tudo, foi percebido alcovas de regressão (Foto 26), filetes subverticais (Foto 27), dutos de convergência e caneluras (Foto 28), quedas de areia e de torrões, assim como pedestais (21), as definições dessas feições já foram apresentadas no referencial teórico-metodológico desta dissertação (subitem 3.6 Processos Erosivos e Erosão Laminar).

Foto 26 – Alcovas de regressão na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Foto 27 – Filetes subverticais na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Foto 28 – Pedestais e indícios de erosão laminar na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Para mais, na área de estudo, foi notado também indícios de movimentos de massa, identificados a partir dos resíduos localizados abaixo das bordas da incisão erosiva. Nesse sentido, as quedas de areia, de torrões e de massa são provocadas principalmente pela instabilidade física ou exposição à chuva (OLVEIRA, 2014), bem como devido ao escoamento superficial, e são extremamente perigosos a vida da população que reside ao entorno de processos erosivos.

Além do mais, notou-se a presença de vários cupinzeiros (Foto 29), segundo Almeida e Ferrari (2015, p. 1), “esses organismos pertencentes à ordem Isoptera têm grande importância ecológica, e vários estudos estão relacionadas com a degradação de vegetação e de solo, principalmente em pastagens.”

Foto 29 – Cupinzeiro na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Além dessas feições erosivas, Silva (2020) aborda sobre a erosão associada ao pisoteio do gado na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. O pisoteio do gado está associado à erosão linear na medida que o gado compacta o solo em formato de caminhos para dessedentação nos cursos d'água, reduzindo a infiltração e favorecendo o escoamento concentrado.

Além de tudo, os processos erosivos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros estão diretamente relacionados com a atividade de extração mineral da área, que degrada o ambiente e intensifica esses fenômenos, mas por outro lado existe a questão econômica e aplicabilidade desses recursos na sociedade, pois os minerais estão presentes no cotidiano de todos. Segundo os dados do SIGMINE da ANM (2021), a extração mineral realizada da área de estudo é sobretudo para a construção civil. No mais, grande parte das feições erosivas identificadas na área de estudo se encontram na área de mineração da Foto 30, que apresenta grandes áreas de solo exposto.

Foto 30 – Área de extração mineral na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Logo, o cadastramento dessas feições erosivas são fundamentais para o entendimento dos processos da bacia, além de auxiliar na previsão desses mecanismos erosivos, assim como a aplicação de medidas de controle. Além disso, o conhecimento da localização desses pontos facilita a compreensão dos níveis de fragilidade ambiental e as perdas de solos desse ambiente.

Nesse sentido, foi identificado e georreferenciado 32 pontos com erosão: Laminar e Linear (6), Laminar (2) e Linear (24), dados esses obtidos em trabalhos de campo e por imagens de satélites, anteriormente citadas. Vale ressaltar que a erosão laminar por ser considerada “oculta” foi de difícil identificação. No mais, esses pontos foram plotados no mapa de fragilidade ambiental e de perdas de solos.

Por fim, esse levantamento e análise das variáveis geoambientais da área de estudo foi realizado com a finalidade de auxiliar a análise da dinâmica do ambiente e para dar subsídio para as análises que serão apresentadas no próximo tópico.

5.2 Análise da Fragilidade Ambiental e Perdas de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros

Primeiramente, vale frisar que o conceito norteador dessa pesquisa é o de ambiente, tratando-se de um trabalho marcado pelas relações sociais, tal qual pela união do estudo da natureza e da sociedade. Além disso se estuda um ambiente costeiro, por isso houve a adaptação das técnicas que foram usadas para realizar as análises de fragilidade ambiental e de perdas de solo da bacia, realizados em escala de 1:70.000.

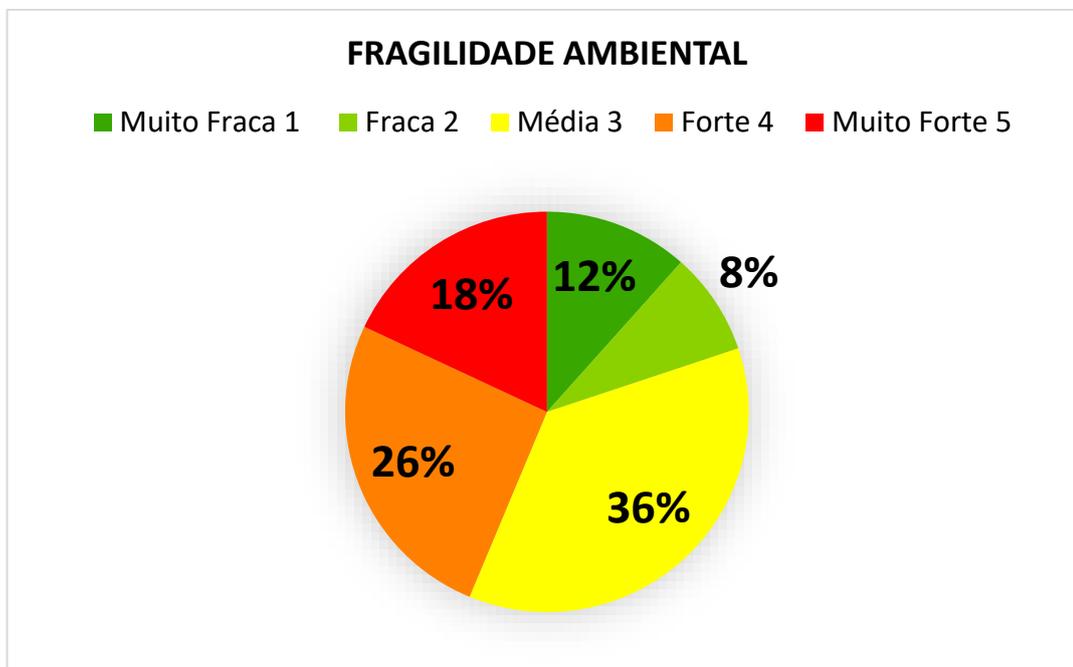
Nesse sentido, a construção da fragilidade ambiental passou por um detalhado conhecimento das características da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, obtidos por levantamento bibliográfico e cartográficos e por meio de trabalhos de campo realizados.

Para mais, tendo como base a análise integrada das características geoambientais da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, foi possível analisar e especializar a fragilidade ambiental da área, que é um importante instrumento de planejamento territorial-ambiental.

Fundamentado na literatura levantada no referencial teórico-metodológico, a fragilidade ambiental da área de estudo variou de: Muito Fraca 1 a Muito Forte 5. Em relação à distribuição dessas classes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, a maior parte é constituída pela classe Média 3 (36%), seguida por Forte 4 (26%), por Muito Forte 5

(18%), por Muito Fraca 1 (12%) e por Fraca 2 (8%), conforme representa o gráfico a seguir (Gráfico 20):

Gráfico 20 – Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



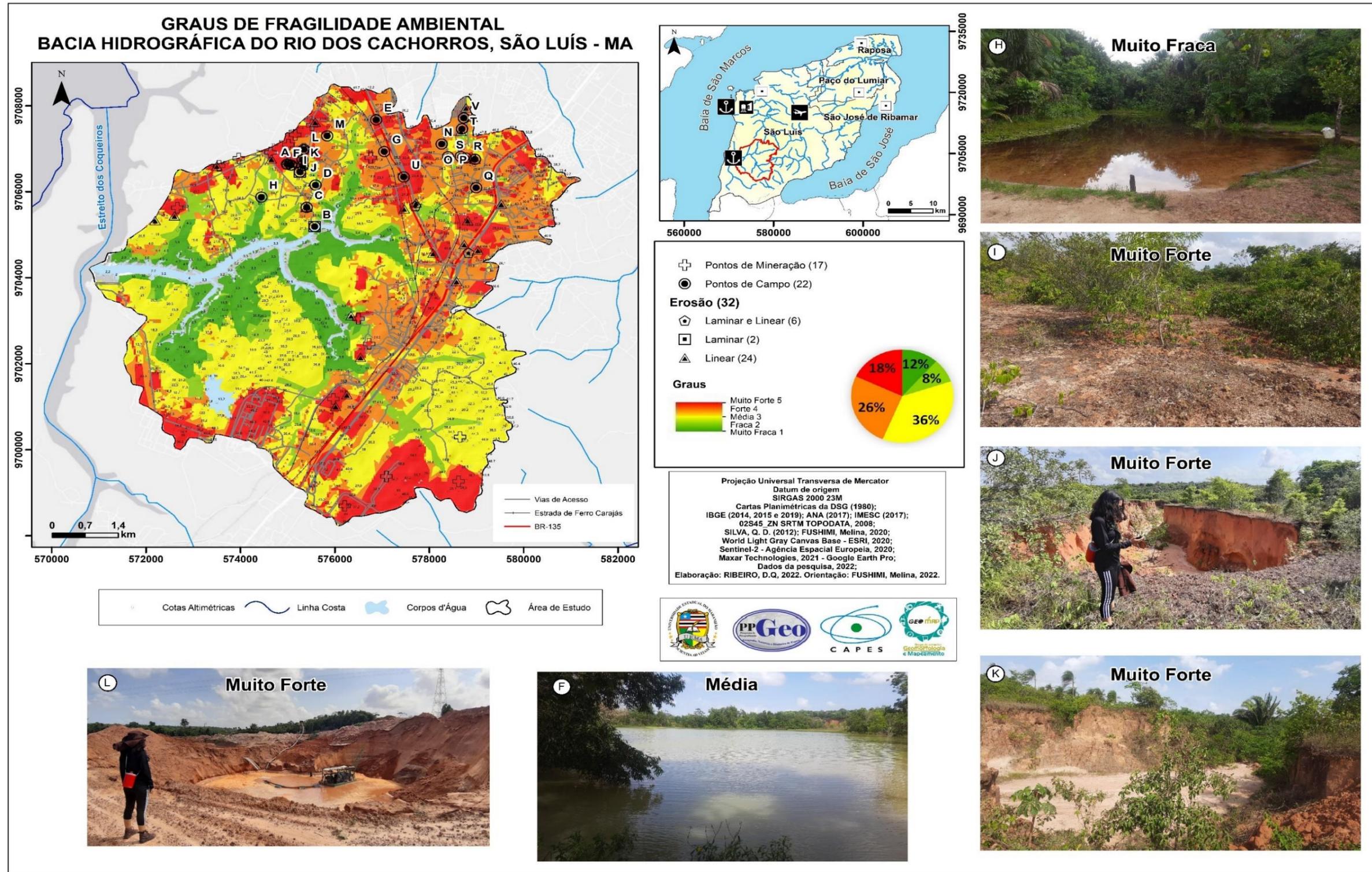
Fone: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Essa fragilidade ambiental elaborada e exposta na presente dissertação, englobou as formas de curvaturas, as classes de declividade (%), os tipos de solos, as unidades de relevo e o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. Com a espacialização desses dados (Mapa 18), foi possível analisar o comportamento desse ambiente, conjuntamente com os pontos de observação de campo, mineração e de erosão.

Em relação à fragilidade Muito Fraca, essa é composta pelos Gleissolos Tiomórficos, Planície de Maré e Vegetação de Manguezal. A fragilidade Fraca é formada por Gleissolos Hápticos, Planície Fluvial e Vegetação Secundária. Esses ambientes estão diretamente relacionados com as águas fluviais e costeiras, principalmente do rio dos Cachorros.

Nesses ambientes também há presença de formações vegetais protegendo o solo contra o efeito da água da chuva, por consequência da erosão, assim como explanado no referencial teórico-metodológico. Essas áreas também apresentam baixas declividades e altitudes. Esse conjunto de características resultam em uma fragilidade muito fraca e/ou fraca.

Mapa 18 – Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Sobre a fragilidade Média, essa é formada pela curvatura de superfície Convexa, declividade de 3 † 8%, Latossolos e Tabuleiros com Topos Planos, a Forte é constituída pela curvatura de superfície Retilínea, declividade de 8 † 20% , Argissolos, Colinas Esparsas e Área Urbanizada, enquanto que a Muito Forte é composta pela curvatura de superfície Côncava, declividade de 20 † 45%, Neossolos Quartzarênicos e Solo Exposto.

Na fragilidade Média e Forte, é observado um relevo em que ora prevalece a infiltração, ora o escoamento superficial, assim como de acordo com Maranhão (1998). Além disso, nessas áreas de fragilidade, é possível notar que embora a vegetação não esteja presente, existe cobertura (Foto 31), ainda que urbana, diferentemente das áreas Muito Forte, no qual não existe a presença de cobertura, mas sim, o solo exposto aos processos intempéricos.

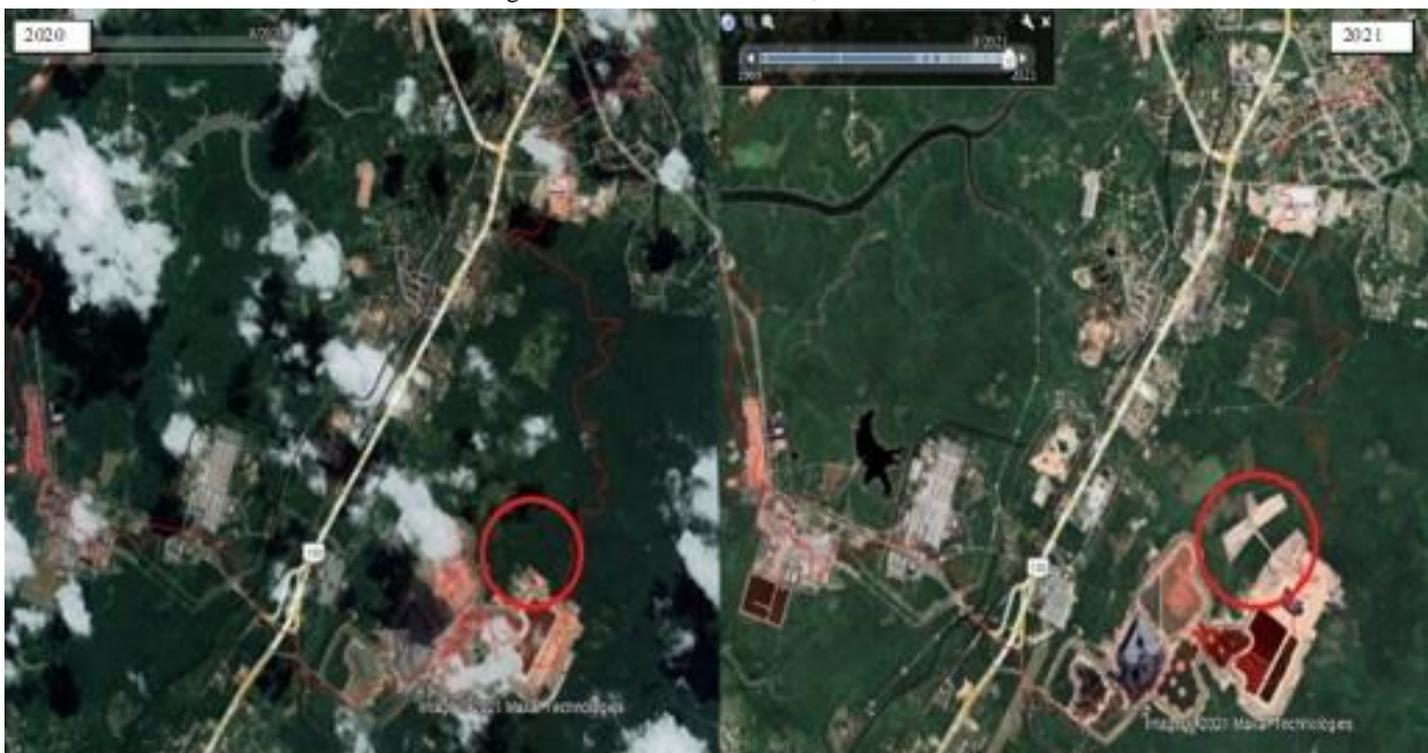
Foto 31 – Cobertura Urbana (A) e Solo Exposto (B), bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2021), São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Para mais, a cobertura urbana e o solo exposto estão propícios a desenvolver processos erosivos, porém o solo exposto em maior grau. Na área de estudo, esse solo exposto está localizado principalmente nas áreas das mineradoras, que estão em contínua expansão (Figura 31):

Figura 31 – Comparação entre a Imagem *Maxar Technologies (Google Earth Pro)*, de 2020 e de 2021, porção sudoeste da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Através da figura 31, é possível perceber, mesmo com a presença de nuvens, o quanto dinâmico e o uso e ocupação dessa bacia hidrográfica, pois, em poucos meses foi aberto uma nova área para extração de mineral, havendo a remoção da cobertura vegetal e presença de solo exposto.

No tocante, as fragilidades Média, Forte e Muito Forte, essas apresentam declividades maiores (Foto 32), tal como formas de relevo que promovem o escoamento superficial, e solos que são mais passíveis a perda de agregados. Por esse motivo, os processos erosivos pontuados durante as análises de imagens de satélite bem como durante os trabalhos de campo, ocupam principalmente essas regiões, em razão da cobertura e uso da terra e dessas características naturais.

Foto 32 – Área de fragilidade ambiental Muito Forte, com grande declive, assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA



Fonte: Acervo da pesquisa (2022).

Desse modo, é possível afirmar que a alta fragilidade está associada as características naturais e aos usos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, em virtude da cobertura vegetal da bacia hidrográfica está perdendo espaço para a cobertura urbanizada e impermeabilizada, tal como por áreas desprovidas de formações vegetais, primárias ou secundárias, afetando a infiltração, permeabilidade e o armazenamento de água.

Nesse contexto, é de grande importância haver programas e/ou projetos de educação ambiental para sensibilizar a preservação da vegetação local, e a recuperação dessas áreas, sobretudo nas comunidades e assentamentos da bacia, pois esses moradores possuem uma relação mais amistosa com o ambiente, do que as grandes empresas e mineradoras, que a todo custo procuram ocupar novas áreas para a exploração predatória dos recursos naturais. A tendência é que com a relação da evolução do uso e ocupação, conjuntamente com as características naturais do ambiente, surjam novas áreas de fragilidade ambiental Forte e Muito Forte.

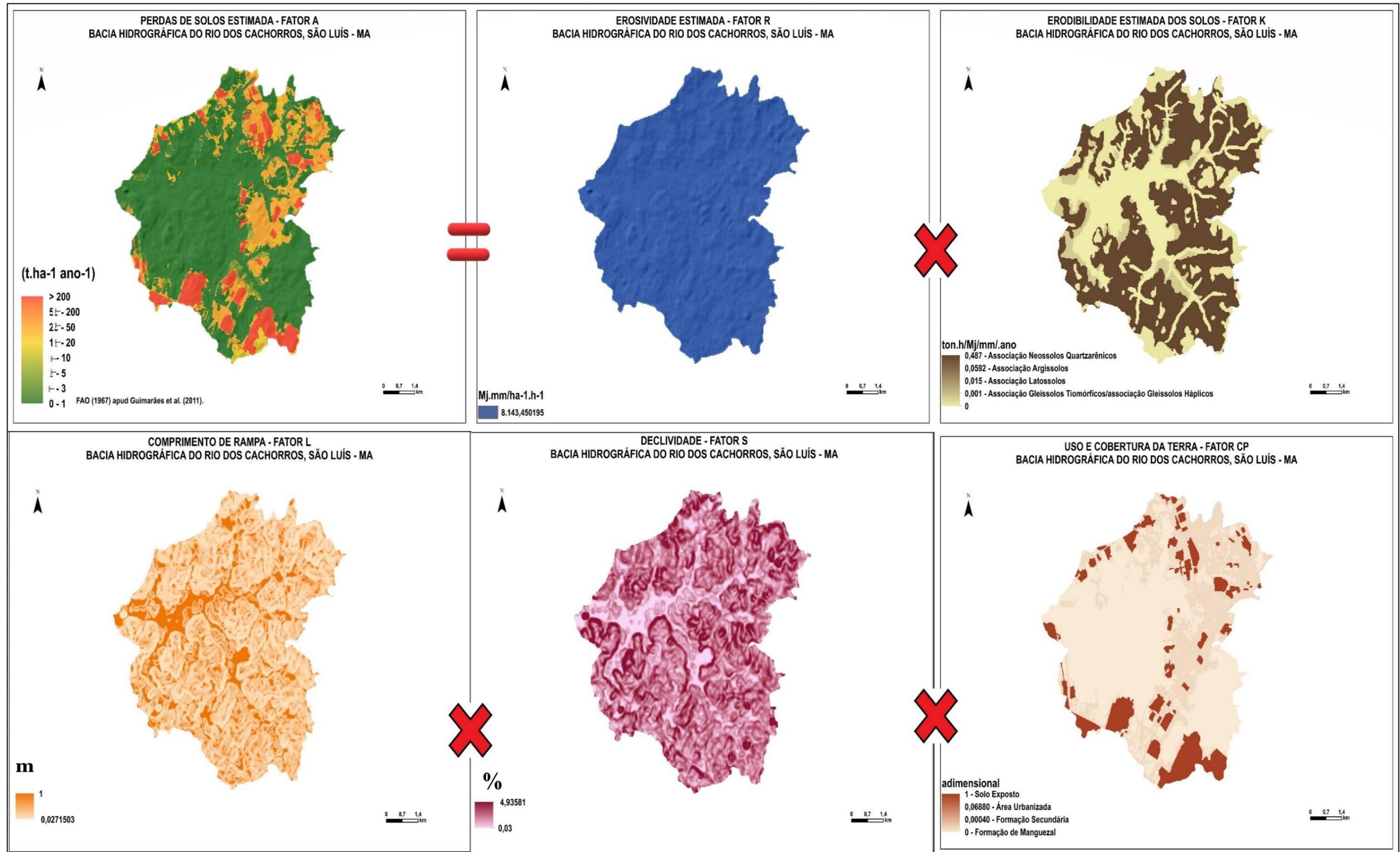
No mais, para auxiliar na análise da dinâmica da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, além da fragilidade ambiental foi realizado também o levantamento de perdas de solos, por erosão laminar da área. A erosão laminar, segundo Guimarães *et. al.* (2011, p. 534), pode ser definida “[...] como a remoção homogênea da porção superficial de solo”, e frequentemente é estimada pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A erosão é causada por fenômenos naturais, mas intensificados pelos usos dos agentes sociais e o processo erosivo laminar resulta na degradação e perdas de nutrientes dos solos.

Vale pôr em evidência que o estudo e identificação das áreas de fragilidade ambiental, com possibilidade de perda de solos e focos erosivos, são importantes para subsidiar as discussões sobre uso e ocupação, zoneamento, planejamento e gestão ambiental, degradação dos cursos d’água, dentre outros elementos.

A Equação Universal de Perdas de Solos, leva em consideração os fatores naturais e o uso e ocupação da sociedade nos solos da área estudada, ela leva também em consideração a erosão pluvial como ponto fundamental na dinâmica de perdas de solos.

A Figura 33 ilustra e representa as variáveis e seus produtos cartográficos usados e elaborados para a estimativa da Equação Universal de Perdas de Solo, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. A EUPS englobou o fator chuva (R), erodibilidade dos solos (K), comprimento de rampa (L), declividade (S), e o uso e práticas (CP) da sociedade na bacia de estudo.

Figura 32 – Esquema das variáveis e seus produtos cartográficos usados para a estimativa da Equação Universal de Perdas de Solo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

O Quadro 5, apresenta os dados pluviométricos da estação meteorológica de São Luís (INMET, 2020), utilizados para o cálculo do índice de erosividade (EI), conforme já descrito nos procedimentos metodológicos. Baseado nesses dados, os maiores índices de erosividade, 26578,03131 $Mj.mm/ha^{-1}.h^{-1}$ e 24740,43126 $Mj.mm/ha^{-1}.h^{-1}$, são dos meses de abril (451,67 mm) e março (433,03 mm), respectivamente, meses característicos como chuvosos.

Quadro 5 – Dados utilizados e gerados pelo fator erosividade (R), estimada, (2000 a 2020), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Meses	Média Mensal 2000 a 2020 (mm)	Média Mensal do Índice de Erosividade (EI) $Mj.mm/ha^{-1}.h^{-1}$
JAN	245,52	9429,19
FEV	340,64	16453,22208
MAR	433,03	24740,43126
ABR	451,67	26578,03131
MAI	307,21	13802,79
JUN	185,01	5828,523295
JUL	111,58	44,85130612
AGO	22,26	159,2646763
SET	2,67	4,329082233
OUT	3,52	6,925469471
NOV	6,08	17,53730181
DEZ	51,20	656,2746437
FATOR R		8143,45

Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

No mais, o fator erosividade estimada (R) (Figura 34), da série histórica de 2000 a 2020, foi de 8143,45 $Mj.mm/ha^{-1}.h^{-1}$, esse dado depende de como a precipitação se distribui ao longo dos anos. A capacidade desses dados em provocar erosão está diretamente relacionado a energia cinética, intensidade e tempo da chuva, tal como as características dos solos.

Figura 33 – Croqui da erosividade estimada, fator R, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Com relação ao índice de erodibilidade estimada (Fator K) (Figura 35), os valores foram obtidos e adaptados por meio de levantamento bibliográfico, por se tratar de uma área de estudo de difícil movimentação, e em virtude que taxas laboratoriais e experimentais desse fator demandam anos de execução. Posto isso, para o Solos indiscriminados de mangue - associação Gleissolos Tiomórficos e Solos hidromórficos - associação Gleissolos Háplicos, utilizou-se uma erodibilidade estimada de 0,001(ton.h/Mj/mm/.ano), Solos desenvolvidos - associação Latossolos uma erodibilidade estimada de 0,015 ton.h/Mj/mm/.ano), Solos rasos a desenvolvidos - associação Argissolos uma erodibilidade estimada de 0,0592 (ton.h/Mj/mm/.ano) e Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênicos uma erodibilidade estimada de 0,487 (ton.h/Mj/mm/.ano).

Figura 34 – Croqui da erodibilidade estimada, fator K, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Esse fator indica a resistência do solo à erosão, mostrando que os Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênicos em comparação aos demais solos da bacia, possuem uma menor resistência as forças dos agentes intempéricos e apresenta maiores taxas de escoamento superficial difuso da água da chuva, conseqüentemente são mais frágeis a erosão laminar, perdas de agregados, e de solos, tal como apresenta uma fragilidade ambiental Muito Forte, como aponta os dados antepostos. Nesse contexto, ressalta-se de novo a importância da vegetação para a conservação dos solos.

Para mais, destaca-se que quanto a distribuição dos solos na área de estudo, a maior parte é constituída por esses solos, Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênico (56%) (Foto 33), dados oriundos da base cartográfica de Fushimi (2020), assim como posto na caracterização geoambiental da bacia.

Foto 33 – Solos rasos a desenvolvidos - associação Neossolos Quartzarênico, assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, (2022), São Luís – MA

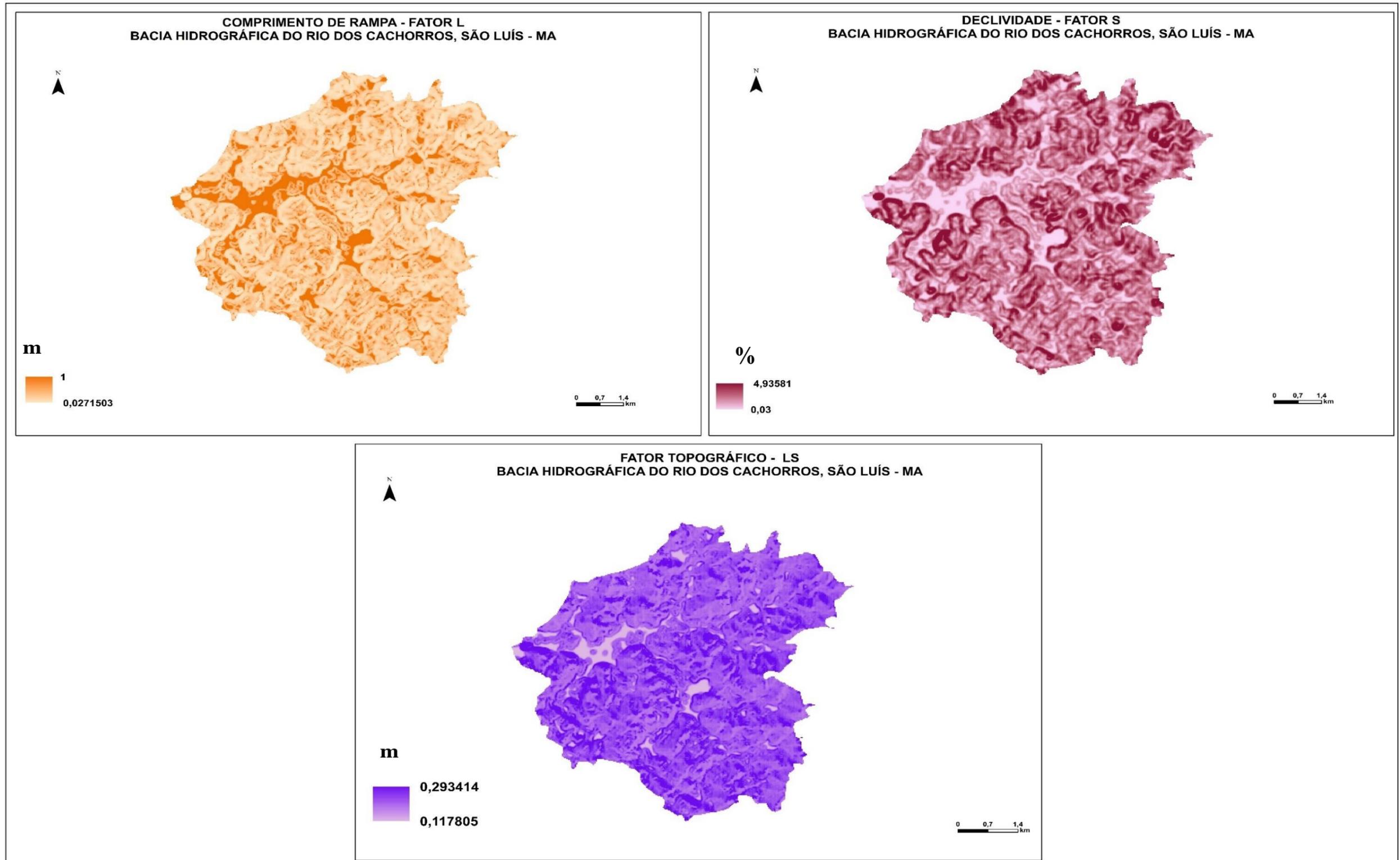


Fonte: Acervo da pesquisa (2022).

Sobre o fator topográfico (LS), (m), indica o impacto do comprimento de rampa (L), (m), e da declividade (%), na erosão laminar do solo. Esses dados foram extraídos do MDT da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

Nessa temática, os valores encontrados para o fator topográfico LS foram relativamente baixos, pois na área de estudo tem o predomínio de um relevo suavemente ondulado, avaliando a perda de solo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros foram apontados valores do fator LS aproximadamente entre 0,11 a 0,29 (m).

Figura 35 – Croqui das variáveis do fator topográfico, (LS), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



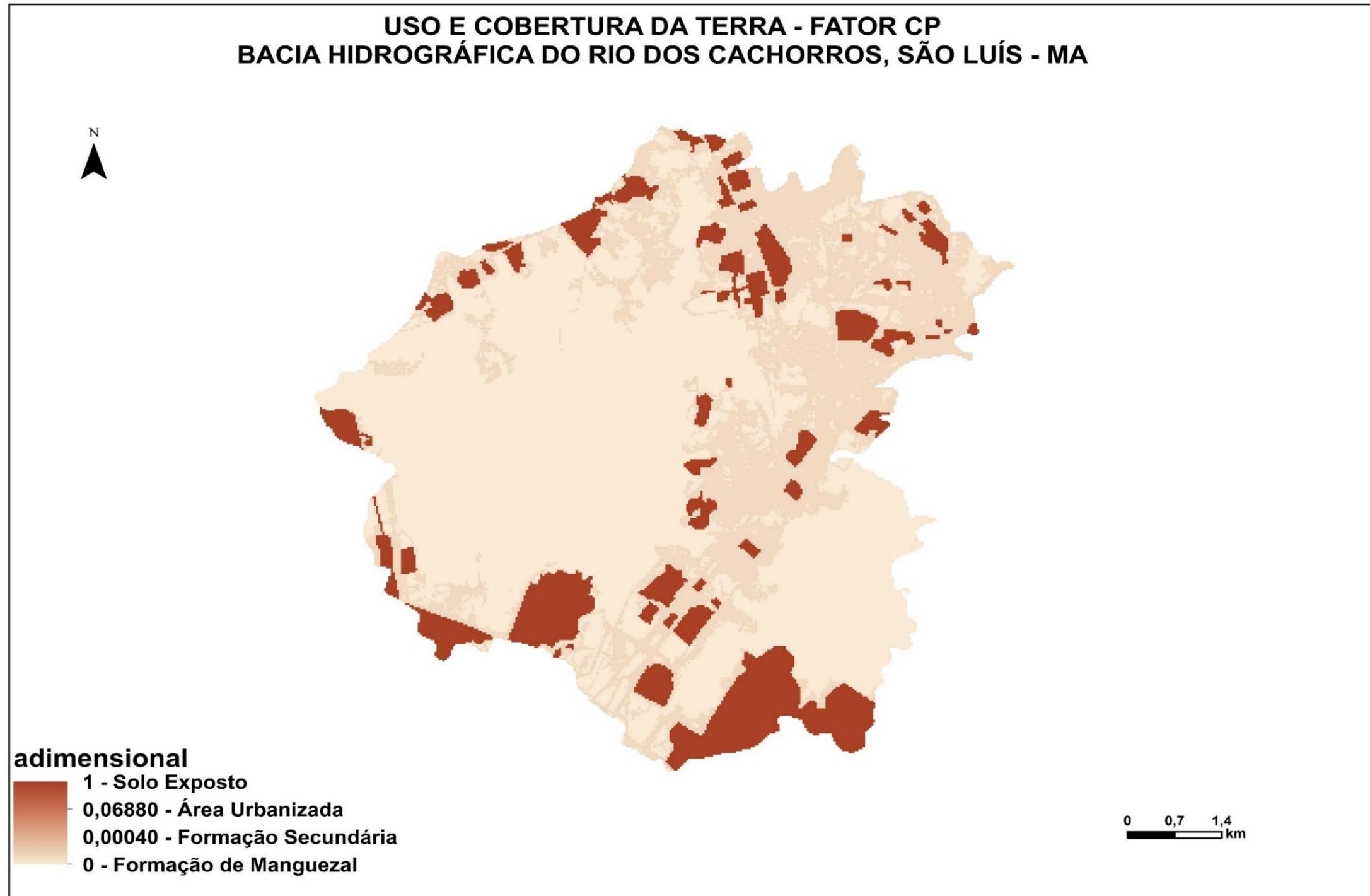
Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

No que concerne ao uso, práticas de ocupação e cobertura da terra, (Fator CP), foram identificadas as classes e os valores CP: Vegetação de Manguezal (0), Vegetação de Formação Secundária (0,00040), Área Urbanizada (0,06880) e Solo Exposto (1). Esses valores foram obtidos e adaptados por meio de levantamento bibliográfico e correlacionados ao mapa de uso e cobertura da bacia, este que foi elaborado com uma de satélite *Sentinel-2* de 2020.

Com relação esse grupo de variáveis, o Solo Exposto, é a classe que é mais sujeita aos processos erosivos e à fragilidade ambiental, pois, esse solo sofre impacto direto do efeito *splash* das gotas de chuva, da ação do escoamento superficial da água, dentre outros fatores, em razão da falta de cobertura.

A categoria Área Urbanizada, apesar de ter recebido um peso menor que do Solo Exposto, em virtude de deter uma cobertura, mesmo que seja impermeabilizada, essa que reduz o efeito da chuva no solo, frequentemente apresenta ao longo das vias e estradas, áreas com solo exposto aos processos erosivos. Enquanto que as áreas com formações vegetais, receberam valores menores, pois apresentam ligeira ou nenhuma perda de solos, visto que o solo é coberto.

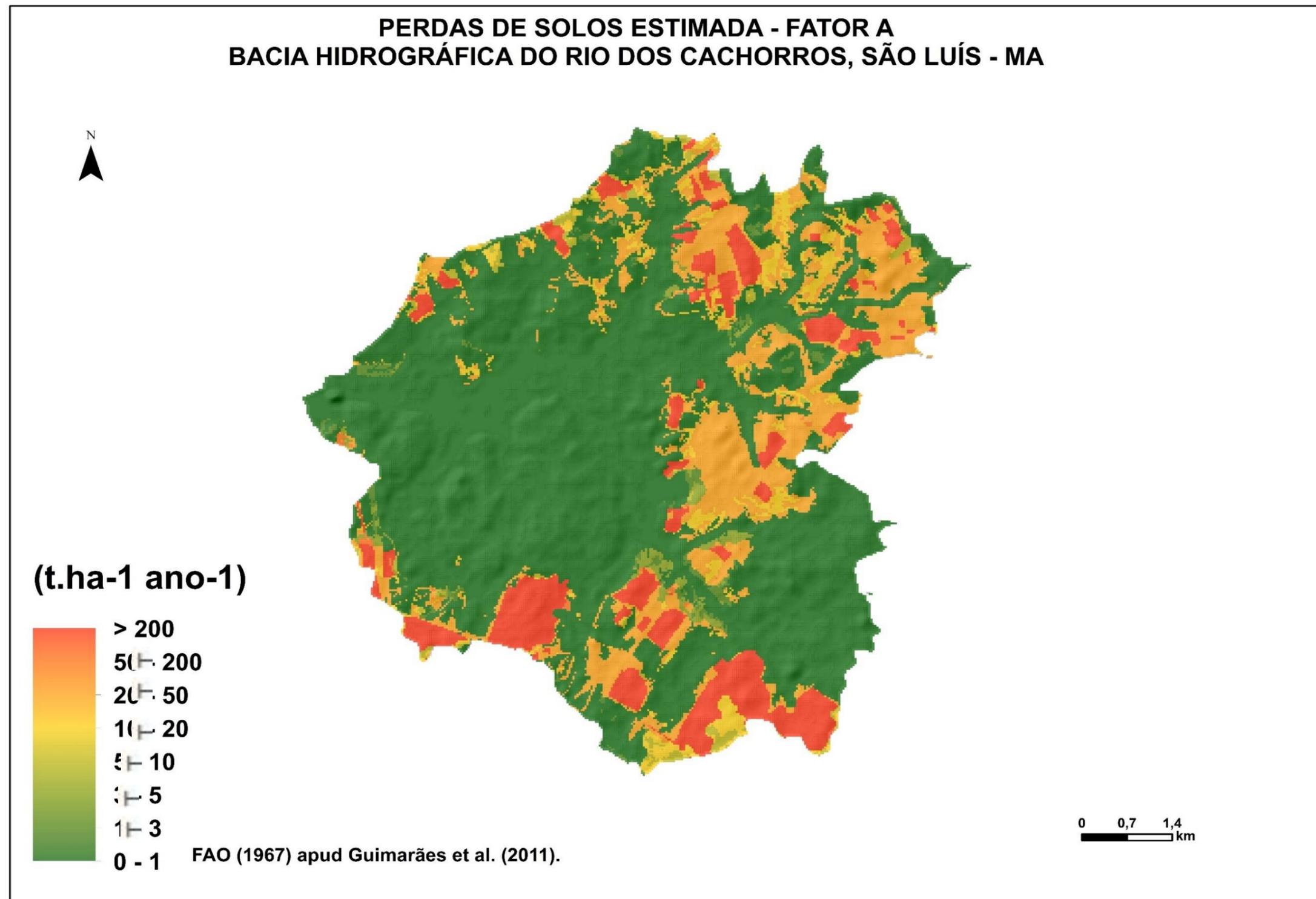
Figura 36 – Croqui do uso e cobertura da terra, Fator CP, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Os dados das variáveis fator chuva (R), erodibilidade dos solos (K), comprimento de rampa (L), declividade (S), e o uso e práticas (CP), da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, foram aplicadas a Equação Universal de Perdas de Solos, resultando na Figura 38, expressando índices de perda de solo por erosão laminar. Os valores variaram de 0 a $> 200 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e foram divididas em 8 classes, conforme a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 1967), apud Guimarães *et. al.* (2011).

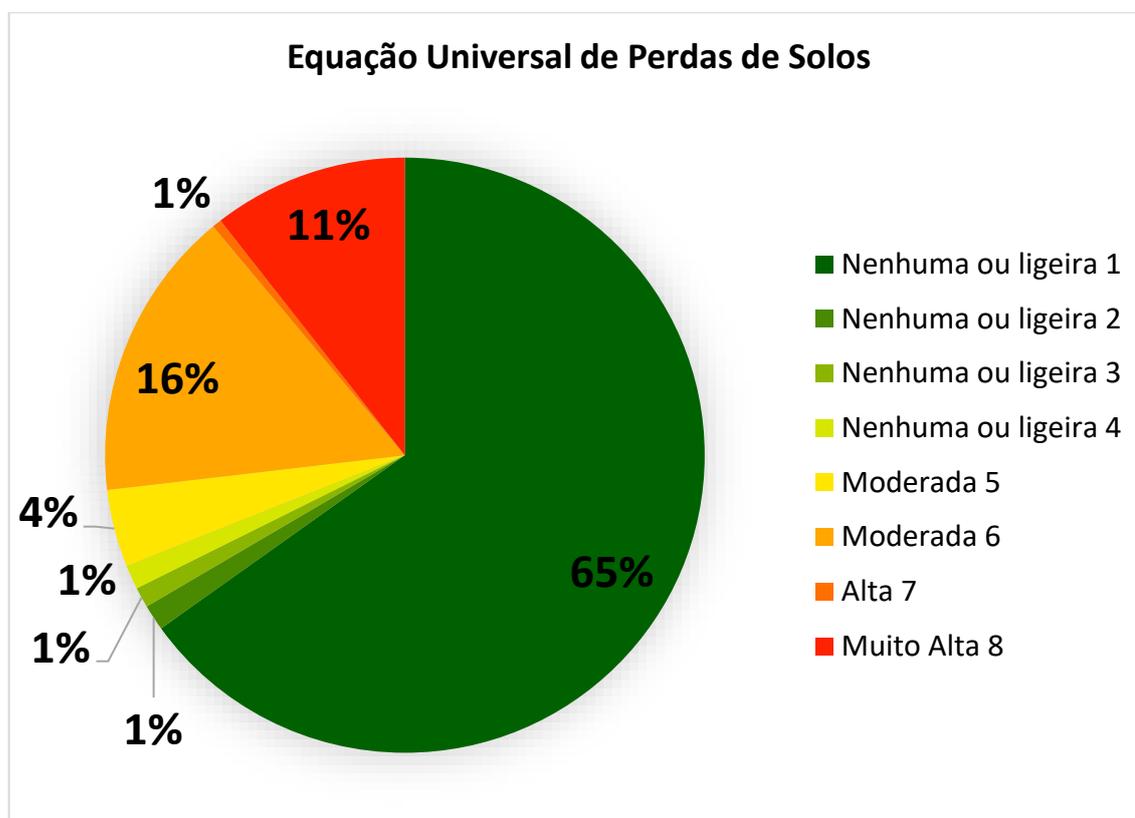
Figura 37 – Croqui das perdas de solos estimada, fator A, da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Em relação à distribuição dessas classes na área de estudo (Gráfico 21), (Mapa 19),: Nenhuma ou ligeira 1 ($0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (65%), Nenhuma ou ligeira 2 ($1 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%), Nenhuma ou ligeira 3 ($3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%), Nenhuma ou ligeira 4 ($5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%), Moderada 5 ($10 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (4%), Moderada 6 ($20 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (16%), Alta 7 ($50 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (1%) e Muito Alta 8 ($> 200 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), (11%).

Gráfico 21 – Resultados obtidos pela EUPS, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís - MA

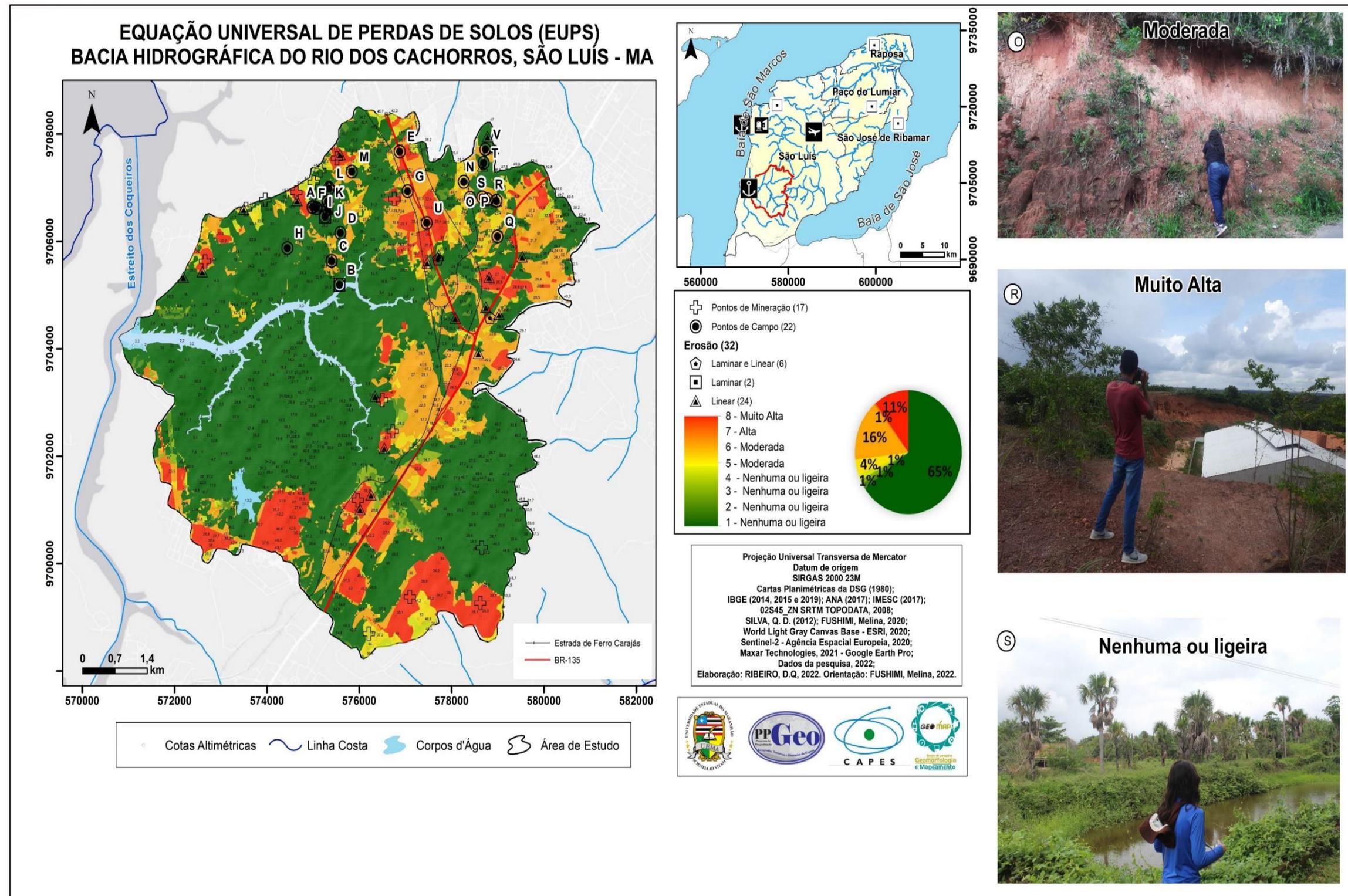


Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Provavelmente a predominância de nenhuma ou ligeira perdas de solos, se deve as remanescentes formações vegetais, que modo frequente são lugares normalmente de difícil acesso, associadamente com as características naturais da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

Para mais, as regiões que apresentaram as maiores perdas de solos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, foram as áreas de solo exposto, sobretudo em consequência da presença das grandes zonas de extração de minerais, nesses locais foram identificados diversos pontos de erosão, como posto no subtópico 5.1.7.

Mapa 19 – Espacialização da EUPS, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís - MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pela autora (2022).

Logo em seguida estão as áreas urbanizadas, com seu solo impermeabilizado, que desfavorece infiltração e beneficia o aumento do escoamento superficial. Á vista disso, é possível notar uma interrelação entre os mapas de uso e cobertura, fragilidade ambiental e o de perdas de solos, por erosão laminar.

Essas áreas de solo exposto, são de grande risco de perdas de solos, pois alcançaram valores superiores a $> 200 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, deste modo necessitam de atenção e controle aos processos erosivos. Esses resultados das perdas de solos, da degradação do ambiente e da perda de nutrientes, afetam principalmente as comunidades que sofrem com a baixa produtividade em seus cultivos e o risco a sua própria existência, devido à instabilidade física desses fenômenos.

Nessa circunstância, se enquadra a Foto 34, que é a Unidade de Ensino Básico (UEB), Maria Thereza Cabral, localizada no assentamento Rio Grande, bacia do rio dos Cachorros, que apresenta uma dinâmica erosiva muito intensa, apresentando uma fragilidade ambiental Muito Forte e perdas de solos Muito Alta, sendo um local de grande movimentação de pessoas, principalmente crianças. Sendo assim, vale ressaltar a importância de identificação de áreas como essa.

Foto 34 – Erosão na localidade da UEB Maria Thereza Cabral, Assentamento Rio Grande, bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (2022), São Luís São Luís - MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Por fim, a tendência é que surjam novas áreas de fragilidade ambiental média a muito forte e de perdas de solos moderadas a muito altas e aquelas que já existem se intensifiquem, em razão do uso e ocupação, que tende a substituir as formações vegetais pela cobertura urbana e pelo solo exposto, havendo a necessidade de frequentes estudos da área, bem como existindo a necessidade de dar assistência as comunidades e assentamentos locais.

Nesse sentido, análises como essa contribuem como importantes materiais a serem empregados para o planejamento territorial-ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, visto que a articulação da fragilidade e da EUPS se mostrou como uma significativa ferramenta de análise do ambiente. Foi notado que aplicando essas duas técnicas houveram áreas com comportamentos parecidos em ambos os procedimentos, sobretudo com relação a espacialização desses dados

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação conflituosa da sociedade com a natureza mediante as dinâmicas e tensões territoriais-ambientais que existem devido à essência do capitalismo: a procura por expansão contínua de acumulação de riqueza, que se materializa nas tensões por espaços, recursos naturais, conflitos políticos e a busca desenfreada pela industrialização promovem impactos no ambiente, principalmente nas áreas costeiras, que são particularmente mais sensíveis e frágeis a ocupação dos agentes sociais.

Baseado no levantamento bibliográfico, cartográfico e nos trabalhos de campo, foi observado que nos dias atuais a bacia hidrográfica rio dos Cachorros sofre com disputas de interesses diversos por conta da busca de espaços ocupáveis e da exploração de recursos naturais, de um lado estão as comunidades, e a população no geral, e do outro lado estão os grandes empreendimentos, ou seja, a burguesia (pequena, média e grande) X proletários (classe trabalhadora), ocorrendo uma territorialização que provavelmente não abrange todas as camadas sociais e as características do ambiente.

Para além, o reconhecimento e a caracterização das características geoambientais e de organização de território, zoneamento, possibilitou analisar os diferentes níveis de fragilidade ambiental e de perdas de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, possibilitando uma compreensão sobre esse complexo ambiente.

Nesse sentido, o conceito norteador dessa pesquisa é o de ambiente, tratando-se de um trabalho marcado pelas relações sociais, tal qual pela união do estudo da natureza e da sociedade. Além disso, se estuda um ambiente costeiro, por isso houve a adaptação das técnicas que foram usadas para realizar as análises de fragilidade ambiental e de perdas de solo da bacia.

Vale pôr em evidência que o estudo e identificação das áreas de fragilidade ambiental, como áreas passíveis a perdas de solos, pontos de processos erosivos, são importantes para subsidiar as discussões sobre uso e cobertura, zoneamento, planejamento e gestão ambiental, degradação dos cursos d'água, dentre outros elementos. Além disso, a erosão é considerada um dos maiores riscos ambientais e deve ser estudada pela sociedade.

Durante o presente trabalho, foi identificado na bacia a tendência de surgir novas áreas de fragilidade ambiental média a muito forte e de perdas de solos moderadas a muito altas e aquelas que já existem se intensifiquem, em razão do uso e ocupação, que tende a substituir as formações vegetais pela cobertura urbana e pelo solo exposto, havendo a necessidade de frequentes estudos da área, bem como existindo a necessidade de dar assistência as comunidades e assentamentos locais. Nesse sentido, análises como essa contribuem como

importantes materiais a serem empregados para o planejamento territorial-ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

O geoprocessamento se mostrou uma importante ferramenta para a análise da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, e o estudo e os produtos cartográficos gerados na presente dissertação constituem importantes ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos para o planejamento territorial-ambiental.

Recomenda-se a implantação de políticas públicas voltadas a área da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros para preservação das áreas verdes, assim como, projetos de educação ambiental, o mapeamento de áreas de risco, dentre outras propostas.

Além disso, baseado nos dados apresentados nesta dissertação existe a possibilidade de trabalhos posteriores, assim como a aplicação de novas técnicas, bem como pesos e níveis, de análise da fragilidade e de perdas de solos, bem como realizar o cruzamento desses dois procedimentos, visto que foi notado que aplicando essas duas técnicas houveram áreas com comportamentos similares, principalmente com relação a espacialização desses dados

Por último, durante a realização deste trabalho foram encontradas dificuldades, sobretudo em relação a execução do método e do modelo matemático escolhido, em razão da dificuldade de obter dados, do tamanho da área de estudo, tal como de locomoção e segurança pela bacia, que apresenta diversos conflitos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Abel W. de **Determinação de fatores para a equação universal de perdas de solo nas condições de Sumé-PB**. 1997. Tese (Dourado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, Piracicaba, 1997.

_____. M. FILHO, Gilson; SANTOS, José R.; COSTA, José P. V. ; SOUZA, José L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 9, n. 2, p. 153-160, junho 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/tXJLLQvQxGwLy6FmkG3VXjC/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de; ALMEIDA, Maria Cristina Jacinto de. Erosão hídrica do tipo ravina e boçoroca. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ANÁLISE DE RISCO LATINO AMERICANA, 3., 2016, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: ABGE, 1-8, 2016. Disponível em: <https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CTGeo/artigos_tecnicos/1197-erosao_hidrica_do_tipo_ravina_e_bocoroca.htm>. Acesso em: 07 jun. 2020.

ALMEIDA, Rafael; FERRARI, Jéferson. Caracterização da ocorrência de montículos de cupim em área de pastagem do IFES Campus Alegre. **Cadernos de Agroecologia**, [S.l.], v. 10, n. 01, junho 2015. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/20439/0>>. 01 jul. 2021.

AMARAL Rosangela do; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. AS UNIDADES ECODINÂMICAS NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL DO MORRO DO DIABO E ENTORNO, TEODORO SAMPAIO/SP. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 59-78, dezembro 2009. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74128>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANAISSE JÚNIOR, J. **Fácies costeiras dos depósitos Itapecuru (Cretáceo), região de Açailândia, bacia do Grajaú**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.

ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP: série científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p.1-6, outubro 2006. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27419>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ARAÚJO, Elienê Pontes de; TELES, Mércia Gabriely Linhares; LAGO, Willinielsen Jackieline Santos. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, **Anais [...]**, Natal, 4631-4638, 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.23.07.25/doc/4631-4638.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

_____.; TELES, Mércia Gabriely Linhares; LAGO, Willinielsen Jackieline Santos. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR*, 14, 2006, Natal, RN. **Anais [...]**, Natal, RN, 25-30, abri. 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.23.07.25/doc/4631-4638.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues; RANGEL, Mauricio Eduardo Salgado. Crescimento Urbano e Variações Térmicas em São Luís – MA. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 2, n. 5, p. 308-318, 2012. Disponível em: < <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2497/2305>>. 05 jul. 2021.

ATAIDE, R; FREIRE, A; JONAS, L; ALVES, M. H., PITTA, M. **Evolução do uso na Bacia do Rio Anil - São Luís - MA**, 2012. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/105863890/Evolucao-do-uso-na-Bacia-do-Rio-Anil-Sao-Luis-MA>>. Acesso em: 01 abr. de 2021.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel, 1996.
BARBOSA, Amanda Fernandes; OLIVEIRA, Everton Falcão; MIOTO, Camila Leonardo; FILHO PARANHOS, Antonio Conceição. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 38, n.1, p. 170-179, 2015. Disponível: < <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/5823/5332>>. Acesso em: 09 fev. 2021.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.

BRASIL, Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. BRASILIA.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Senado.

_____. Decreto nº 9.406 de 12 de junho de 2018. **Regulamenta o Decreto-Lei nº 227**, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Brasília, DF.

_____. Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997 – **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria a Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal e altera o Art. 1º da Lei nº 8.001 de 13 de março de 1990 que modificou a Lei nº 7990 de 28 de dezembro de 1989 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília (DF), janeiro, 1997.

_____. Lei Federal nº 9984 de 17 de julho de 2000 – **Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.** Diário (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020). Oficial da União, Brasília (DF), julho, 2000.

CARNEIRO, Ana Flávia Soares. **Fragilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas do Vão Do Paranã – GO.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, 2019.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia.** [S.l.], 2005.

CASTRO, Hugo Fernando R.; PEREIRA, Edilea Dutra. Cartografia geológico-geotécnica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 3, n. 4, p. 750-759, novembro 2012. Disponível em: < <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1984>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

CASTRO, T. C. S.; DOS SANTOS, F. R. B. Diagnóstico ambiental da atividade de extração mineral classe 2 na bacia hidrográfica do rio dos cachorros, São Luís-MA, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Paraíba, v. 6, n. 1, p. 67-76, 2012. Disponível em: < <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj39bX2-OTxAhXupJUCHUaSCrYQFjABegQICRAD&url=https%3A%2F%2Fwww.gvaa.com.br%2Frevista%2Findex.php%2FRBGA%2Farticle%2Fdownload%2F1152%2F1576&usg=AOvVaw2dimt2Dl1We8uQg5WiKL4C>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

CORRÊA, Edvania Aparecida; MORAES, Isabel Cristina; COUTO JUNIOR, Antonio Aparecido; PINTO, Sérgio dos Anjos Ferreira. APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO MODIFICADA (MEUPS) NA AVALIAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO EM UMA MICRO BACIA HIDROGRÁFICA COM SOLOS PREDOMINANTEMENTE ARGILOSOS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17, CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1, 2017. São Paulo. **Ebook** [...], 4654- 4664, 2017. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2178>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

COSTA, A. C. Geoestatística: Introdução à interpolação espacial. *In*: RUCKAUER, F. J. C. **TecGEO: MOOC de Ciência e Sistemas de Informação Geográfica.** [S.l.], UNIGS PT, 2015.

COSTA, Waldir Duarte. Uso e Gestão das águas Subterrâneas. *In*: FEITOSA, Fernando A. Carneiro (Coord.); MANOEL FILHO, João; FEITOSA, Edilton Carneiro; DEMETRIO, José Geilson A **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Recife: LABHID, 2008, cap. 7.5., 725-742. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Difusao-do-Conhecimento/Livro-%22Hidrogeologia%3A-Conceitos-e-Aplicacoes%22-1130.html>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

CRISTAL JR. **Autorização de pesquisa: tudo o que você precisa saber**. 2020. Disponível em: < <http://cristaljr.com/autorizacao-de-pesquisa-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

DAMÁSIO, E. Contribuição ao conhecimento dos manguezais da Ilha de São Luís. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, Maranhão v. 3, n. 1, p. 17-76, 1980. Disponível em: < <http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/blabohidro/article/view/1973>>. Acesso em 26 mai. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *In*: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. **Súmula[...]**. Rio de Janeiro, 1979.

_____. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. Elementos Naturais da Paisagem *In*: _____. **Atlas Escolar do Maranhão**: Espaço Geo-Histórico e Cultural. João Pessoa: Grafset, 2006, cap. 3, 61-88.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C. Barreiras: formação ou grupo? (contribuições da análise geomorfológica do litoral sul da Bahia e das “chapadas” do Jequitinhonha). *In*: CONGRESSO ABEQUA, 10., 2005, Guarapari, ES. **Resumos [...]** Guarapari, ES: ABEQUA, 2005.

FERREIRA, B. S. FUSHIMI, M. CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS CACHORROS COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA ILHA DO MARANHÃO. *In*: ENCONTRO MARANHENSE DE GEOGRAFIA, 1, 2021, Maranhão. **Anais [...]**, 1-6. 2021.

_____. FUSHIMI, M. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), 31, 2019, Maranhão, São Luís. **Anais [...]**. Maranhão, São Luís: EDUEMA, 752-754, 2019. Disponível em: < https://www.ppg.uema.br/?page_id=564>. Acesso em: 01 ju. 2020.

_____. **Terrenos Tecnogênicos da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão**. 2021. Relatório Parcial de Iniciação Científica - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís. 2021.

_____.; **Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão**. 2020. Relatório de Iniciação Científica - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís. 2020.

FIERZ, M.S.M. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo**: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, FFLCH, São Paulo, 2008.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. *In*: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. cap. 1, p. 11-28.

_____. DA IMAGEM AO MAPA. *In*: FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, cap. 3., p. 35 42.

Food and Agriculture Organization (FAO). La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO. Roma, n. 81, 1967.

FRANÇA, Luciano CJ; PIUZANA, Danielle; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista Espacios**, v. 38, n. 31, p. 21-38, fevereiro 2017. Disponível em: < <https://www.revistaespacios.com/a17v38n31/a17v38n31p21.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2021.

FUSHIMI, M. OLIVEIRA, R. C.; LISBOA, G. S.; FERREIRA, B. S.; SILVA, P. Z. F.; NUNES, J. O. R. Caracterização físico-química de solo raso a desenvolvido (associação Neossolo Quartzarênico) e solo hidromórfico (associação Gleissolo Háplico): o contexto ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís-MA. **Brazilian Geographical Journal**, v. 11, n. 1, p. 4-18, julho 2020. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/57111>>. Acesso em: 07 fev. 2021.

_____. NUNES, J. O. R. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade. **Revista Interface** (Porto Nacional), v. 11, n. 11, 2016. Disponível em: < <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/2141/8754>>. Acesso em: 07 nov. 2020.

_____. OLIVEIRA, R. C. Dinâmicas ambientais na planície de maré da bacia hidrográfica do Rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão (MA). **Revista Ciência Geográfica**, São Paulo, v. 14, janeiro-dezembro, 2020. Disponível em: < https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXIV_3/agb_xxiv_3_web/agb_xxiv_3-09.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

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

GAYOSO, Rogério Caron. **Fragilidade ambiental e vulnerabilidade social para análise integrada do espaço geográfico**: bacia hidrográfica no Jardim Ângela (São Paulo-SP). 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GEODIVERSIDADE DA ILHA DO MARANHÃO. BARROS, José Sidiney; BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento (Orgs.). – Teresina: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2020.

GEO DIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO. BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento (Org.). – Teresina: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2013.

GEOINFORM AMBIENTAL. **Requerimento de pesquisa mineral.** 2012. Disponível em: < <https://www.geoinform.com.br/requerimento-pesquisa-mineral>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO MARANHÃO: Sistema de Informações Geográficas (SIG): texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão. KLEIN, Evandro Luiz; SOUSA, Cristiane Silva de. Belém: Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2012.

GEOSCAN. **Tipos de Requerimento mineral:** Entenda quais são. 2021. Disponível em: < <https://www.geoscan.com.br/blog/tipos-de-requerimento-mineral/>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

GIOMETTI, Analúcia Bueno dos Reis; PITTON, Sandra Elisa Contri; ORTIGOZA, Silvia Aparecida Guarnieri. Leitura do espaço geográfico através das categorias: lugar, paisagem e território. **Conteúdos e Didática de Geografia**, São Paulo, v. 9, p. 33-41, 2012. Disponível em: < https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/47175/1/u1_d22_v9_t02.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

GONÇALVES, R. A.; CARVALHO, I. S. Contribuição ao estudo da sedimentação da Formação Itapecuru – região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior) - Maranhão - Brasil. **Revista de Geologia**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 75-81, 1996. Disponível em: < https://igeo.ufrj.br/inc/isc/2/2_20.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2020.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz-Caccia; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, julho 2019. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/151030>>. Acesso em: 07 mai. 2021.

GOVERNO DO BRASIL (GOV.BR). **Obter licenciamento mineral.** 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-licenciamento-mineral>> Acesso em: 16 jun. 2021.

GUERRA, Antonio José Teixeira. BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Erosão dos Solos. *In:* CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs.) **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006., cap. 5, p. 181-226.

_____. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2008.

_____. O INÍCIO DO PROCESSO EROSIVO. *In:* ____; SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **EROSÃO E CONSERVAÇÃO DOS**

SOLOS: Conceitos, Temas e Aplicações. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, cap. 1., p. 17-55.

_____. **PROCESSO EROSIVOS NAS ENCOSTAS.** *In:* GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (orgs.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005., cap. 4, p. 149-208.

_____. **PROCESSOS EROSIVOS NAS ENCOSTAS.** *In:* CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs.) **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2010, cap. 4, p. 139-155.

GUIMARÃES, Rafael Zoboli; LINGNAU, Christel; RIZZI, Nivaldo Eduardo; SCHEICHI, Richardson Guenther; BIANCH, Rita de Cassia. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville SC. **Raoga espaço geográfico em análise,** [S.l.], v. 23, 2011.

GUIMARÃES, Raul Borges. **Saúde: fundamentos de Geografia humana.** São Paulo: Editora Unesp Digital, 2014. Disponível em: < <http://books.scielo.org/id/4xpyq>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

HARVEY, David. **A Justiça Social e a Cidade.** São Paulo: Hucitec, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades@:** Maranhão - São Luís. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>>. Acesso em: 01 abr.2021.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

_____. **Manual Técnico de Pedologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

_____. **Resolução nº 1/2005** - Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil. Disponível:< https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj0x671gObxAhUwppUCHYgWD6sQFjABegQIBBAD&url=http%3A%2F%2Fgeoftp.ibge.gov.br%2Fmetodos_e_outros_documentos_de_referencia%2Fnormas%2Fpr_01_2015_sirgas2000.pdf&usg=AOvVaw3RCWOV60tpxtP6IgRbulnz>. Acesso em: 13 mar. 2020.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa nº 04,** de 13 de abril de 2011. Brasília, DF.

INSTITUTO DA CIDADE, PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO E RURAL (INCID). **Revisão da Legislação Urbanística de São Luís.** Disponível em: <<https://www.saoluis.ma.gov.br/incid/conteudo/1442>>. Acesso em: 01 abr. de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Disponível: <<https://www.gov.br/incra/pt-br>>. Acesso em: 04 fev.2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 04 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Introdução ao Geoprocessamento,** 2006a. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 01 de dez. 2020.

_____. **Classificação de Imagens,** 2006b. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 01 de dez. 2020.

KIRKBY, M.J. *Modelling some influences of soil erosion, landslides and valley gradient on drainage density and hollow development.* In: AHNERT, F. **Geomorphological Models.** Catena Suppl, 1987, cap. 10, p. 1-11.

KLEIN, Evandro Luiz; LOPES, Elem Cristina dos Santos; ANJOS, Gisele Corrêa; TEIXEIRA, Sheila Gatinho; MOURA, Elyana Melo. Unidades litoestratigráficas. In: **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO MARANHÃO:** Sistema de Informações Geográficas (SIG): texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão. KLEIN, Evandro Luiz; SOUSA, Cristiane Silva de. Belém: Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2012, cap. 3, p.41-88.

LACOSTE, Yves. Uma disciplina simplória e enfadonha? In: LACOSTE, Yves. **A geografia - isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra.** 15.ed, São Paulo: Papirus, 2009, cap. 1, p. 21-30.

LANE, L.J; SCHERTZ, D.L; ALBERTS, E.E; LAFLEN, J.M; LOPES, V.L. *The US national project to develop improved erosion prediction technology to replace the USLE.* In: **IAHS Publication,** 1988, cap. 174, p. 473-481.

Lepsch, Igo Fernando. **Formação e Conservação dos Solos.** São Paulo: Oficina de Textos, São Paulo, 2002.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba:** integração geológico-metalogenética: relatório final, etapa III. Belém: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1978. v. 1, 190 p.

LIMA, Magda Aparecida de. Planejamento urbano: utilização de Sistema de Informação Geográfica – SIG na avaliação socioeconômica e ecológica – um estudo de caso. In: ROMERO, Ademar Ribeiro Reydon; BASTIAAN Philip; LEONARDI, Maria Lucia Azevedo (orgs.). **Economia do Meio Ambiente.** 3ª ed. São Paulo: Instituto de Economia da Unicamp, 2001, cap. 2, p. 221-239.

LIMA, Walter de Paula. Ciclo Hidrológico e Balanço Hídrico. In: **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008, cap. 3, p. 29-45. Disponível em: <<http://www.faesb.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/09/hidrologia1.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2020.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas. *In: Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação do Solo*, 3, 1980, Pernambuco.

_____. **Tolerância de perdas de terra para solo do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1975.

LOPES, Francisco Clébio Rodrigues. Metamorfoses no espaço metropolitano de São Luís (MA). *GeoTextos*, Bahia, vol. 14, n. 1, p. 83-102, julho 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/25306>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

MACIEL, Manoel Marques. **Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) em Ambiente de Geoprocessamento e sua Comparação com Aptidão Agrícola**, 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MAFRA, Neusa Maria Costa. EROSÃO E PLANIFICAÇÃO DE USO DO SOLO. *In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. EROSÃO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS: Conceitos, Temas e Aplicações*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, cap. 9., p. 301-322.

MARANHÃO. GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. LABGE/UEMA, São Luís: GEPLAN, 2002.

_____. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense; Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. São Luís: Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA). Ministério do Meio Ambiente (MMA). Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), 1998.

MARQUES, J. Quintiliano A.; BERTONI, José; BARRETO, Geraldo B. Perdas por erosão no estado de S. Paulo. *Bragantia* [online], v. 20, n. único, p. 1143-1182, setembro 1961. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0006-87051961000100047>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MASSA, Eric Macedo; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. APLICAÇÃO DE UM MODELO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL RELEVO-SOLO NA SERRA DA CANTAREIRA, BACIA DO CÓRREGO DO BISPO, SÃO PAULO-SP. *Revista Do Departamento De Geografia*, São Paulo, v. 24, p. 57-79, dezembro 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0024.0004>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?** 8. ed. São Paulo: Contexto, 2021.

MIYAZAKI, L. C. P. **Apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente e Marília/SP**, 2014. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. DE TEMPOS E RITMOS: Entre o Cronológico e o Meteorológico para a Compreensão Geográfica dos Climas. **GEOGRAFIA**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 131-154, agosto 2001. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15369>>. Acesso em: 10 mai. 2020.

MORAES, Antonio Carlos Robert. O objeto da Geografia. *In*: MORAES, Antonio Carlos Robert. **Geografia: pequena história crítica**. 21. ed. São Paulo: Annablume, 2007, cap. 1, p. 31-37.

MORAIS, Reurysson Chagas de Sousa; SALES, Marta Celina Linhares. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, Minas Gerais, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017.

MOREIRA, Ruy. Assim se passaram dez anos - A Renovação da Geografia Brasileira no Período 1978-1988. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 27-49, setembro 2009. Disponível em: <<https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13373>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

MOREIRA, Ruy. Repensando a Geografia. *In*: SANTOS, Milton (org.). **Novos Rumos da Geografia Brasileira**. 3ª ed. São Paulo: Hucitec, 1993.

MORGAN, R.P.C. *Soil erosion and conversation*. Inglaterra: Longman Group, 1986.

MORGAN, R.P.C. *Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area*. *Nat. Coll. Agric. Engng. Silsoe Occasional Paper*, v. 4, 1977.

MOURA, Dalvino Jose de. **RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO**. 2015. Monografia -: Universidade Estadual de Goiás, Unidade Niquelândia, 2015. Disponível em: <<https://monografias.brasilecola.uol.com.br/geografia/recuperacao-areas-degradadas-pela-mineracao.htm>>. Acesso em: 01 out. 2021.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. New Windsor, N.Y.: Gretag Macbeth, Munsell Color, 2012.

NASCIMENTO, E.E.D.J. **Contribuição aos estudos de processos erosivos acelerados em áreas de dunas poligenéticas – o caso da praia Mole, ilha de Santa Catarina**, 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

NUNES, J. O. R. Os novos ritmos da natureza. *In*: ENCONTRO ESTADUAL DE GEOGRAFIA - Território, Sociedade e Natureza: novas dinâmicas espaciais, 24, 2004, [s.l.]. **Anais [...]**, [s.l.]. 1-9, 2004. Disponível em: <<https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/documentos839/docs/os-novos-ritmos-da-natureza.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

_____. **Práxis geográfica e suas conjunções**. 2014. Tese (Livre Docência) -

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo, 2014.

OLIVEIRA Jr., J.B. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração**, 2012.

OLIVEIRA, Marcelo Accioly Teixeira de. PROCESSOS EROSIVOS E PRESERVAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE EROÇÃO POR VOÇOROCAS. *In*: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **EROSÃO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS**: Conceitos, Temas e Aplicações. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, cap. 2., p. 57-99.

OLIVEIRA, Marcelo Accioly Teixeira de; SBRUZZI, G.J.; PAULINO, L.A. Taxa de erosão por voçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. *In*: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, 1995, Goiás. **Anais [...]**. Goiás. 647-651, 1995.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). *Desarrollo sostenible de tierras aridas y lucha contra la desertificación: Posición de la FAO*. Rome, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/v0265s/v0265s00.htm>>. Acesso em: 03 jun. 2020.

PASQUATTO, Maisa Carla; TOMAZONI, Julio Caetano. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 9, p. 555-570, 2016.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade Natural a Contaminação do Solo e do Aquífero do Reservatório Batatã**. 2006. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2006.

PINHEIRO, Juarez Mota. Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na Ilha do Maranhão no ano de 2016. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, Maranhão, v.3, n.8, p. 126-141, janeiro-abril 2017. Disponível em: <<http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/6530/0>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

PIRES, José Salatiel Rodrigue; SANTOS, José Eduardo dos; DEL PRETTE, Marcos Estevan. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. *In*: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M (EE.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Bahia: Editus, 2002, cap. 1, 17-35.

POLON, Luana Caroline Künast. Espaço Geográfico: Breve Discussão Teórica Acerca Do Conceito. **Revista Geográfica Acadêmica**, Roraima, v. 10, n. 2, 82-92, 2016. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/rga/article/view/3834/2089>>. Acesso em 01 nov. 2021.

PORTO, Rubem L.; ZAHED, Kamel. F.; TUCCI, Carlos E. M.; BIDONE, Francisco. Drenagem Urbana. *In*: TUCCI, CARLOS E.M (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, cap. 21, p. 805-847.

POUCHAIN, Adriano de Castro. **A Natureza Jurídica da Concessão de Lavra Mineral no Brasil**. 2011. Monografia (Graduação em Direito) - Faculdade de Direito da Universidade de Brasília, 2011.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. Decreto nº 205 de novembro de 1936. **Código de Posturas do Município de São Luís – Maranhão**. São Luís, 1936.

_____. **Dispõe sobre o Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano e dá outras providências**. São Luís, 1992.

_____. **Dispõe sobre o Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano e dá outras providências**. São Luís, 1992.

_____. Lei nº 1.790 de 12 de maio de 1968. **Código de Posturas do Município de São Luís – Maranhão**. São Luís, 1968.

_____. **Plano Diretor do Município de São Luís**: Lei 4669 de 11 de outubro de 2006. São Luís: Secretaria Municipal de Governo, 2006.

_____. **Proposta Limite Urbano e Rural, 2019**. Texto Proposto - Plano Diretor do Município de São Luís (Lei n.º 4.669/06).

_____. **Proposta Macrozoneamento Ambiental, 2014**. Texto Proposto - Plano Diretor do Município de São Luís (Lei n.º 4.669/06).

_____. **Proposta Macrozoneamento Ambiental, 2015**. Texto Proposto - Plano Diretor do Município de São Luís (Lei n.º 4.669/06).

_____. **Proposta Macrozoneamento Ambiental, 2019**. Texto Proposto - Plano Diretor do Município de São Luís (Lei n.º 4.669/06).

_____. **Proposta Macrozoneamento Urbano, 2019**. Texto Proposto - Plano Diretor do Município de São Luís (Lei n.º 4.669/06).

_____. **Proposta Zoneamento, 2015**. Texto Proposto – Zoneamento Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano de São Luís (Lei nº3.253/92).

PROJETO BANCO DE DADOS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIO UNA. **Análise De Vulnerabilidade Das Terras**. Departamento de Ciências Agrárias, 2005. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br/una/una_status_19.html>. Acesso em: 01 de dez. 2020.

REINECK, H. E.; SINGH, I. B. 1973. *Depositional sedimentary environments*. Berlin: Springer-Verlag, 439 p.

RIBEIRO, D. Q.; CASTRO, R. M. S.; SANTOS, G. I. F. A.; CRUZ, W. L.; PEREIRA, E. D. **Análise do Uso e Ocupação em Áreas de Preservação Permanente Através da Matriz de Impacto Ambiental**. In: PINHEIRO, L.S; GORAYEB, A. (Org.). XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - Geografia Física e as Mudanças Globais. 1ed. Fortaleza - CE: Edições UFC, 2019, p. 1-12. Disponível em: < <http://www.editora.ufc.br/catalogo/28-geografia/982-geografia-fisica-e-as-mudancas-globais>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

ROSA, Roberto. Análise espacial em geografia. **Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia** (ANPEGE), Mato Grosso do Sul, v. 7, n. 01, p. 275-289, 2011. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6571/0>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

_____. Geomorfologia Ambiental. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs.) **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006., cap. 8, p. 351-386.

_____. *Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities*. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Volume Especial 30 Anos, p. 38-51, dezembro 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53841>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

_____; FIERZ, Marisa de Souto Mattos. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades. In: MAGNONI JÚNIOR, L. *et al* (orgs). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017, p.58-77.

ROSSETTI, D. F., TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano-Terciário Inferior na Bacia de São Luís, Maranhão. In: **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciência Terra**, 9, 29-41, 1997.

ROYO, J. **Áreas degradadas por mineração: recuperação demora 30 anos**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=22264&secao=Agrotemas>>. Acesso em 25 jul. 2021.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. CONTROLE E PREVENÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **EROSÃO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS: Conceitos, Temas e Aplicações**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, cap. 7., p. 229-267.

SÁNCHEZ, Luis Henrique. Conceitos e Definições. In: SÁNCHEZ, Luis Henrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. atual. e ampl. São Paulo: Oficina de textos, 2015, cap. 1, p. 17- 43.

SANTOS, J. H. S. ; PEREIRA, E. D. ; LIMA, L. G. ; RANGEL, M. E. S. ; COSTA, H. O. ; SILVA, J. X. ; SANTOS, G. I. F. A. ; GRACA, J. P. ; SILVA, S. S. ; MORENO, M.

G. ; MACEDO, J. F. ; SERRA, S. L. s Bases Naturais do Bioma Amazônico no Estado do Maranhã: Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia. *In: SUMÁRIO EXECUTIVO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE): etapa Bioma Amazônico.* CATUNDA, Paulo Henrique de Aragão; DIAS, Luiz Jorge Bezerra da Silva (orgs.). São Luís: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), 2019, cap. 2, p. 30-91.

SANTOS, Jader de Oliveira.; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (ANPEGE)**, Mato Grosso do Sul, v. 8, n. 10, p. 127-144, agosto-dezembro 2012. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/download/6511/3503>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SANTOS, Jefferson Pereira Caldas; PEREIRA CALDAS, Vanessa Ingrid Saraiva; SILVA, Antonio Soares. Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 1415-1430, nov. 2019. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/239000>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SANTOS, L. F.; FUSHIMI, M; SILVA, SILVA, P. Z. F. Impactos Ambientais nas Nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros, bairro Rio Grande, Ilha do Maranhão *In: PORTUGUEZ, Anderson Pereira; COSTA, Carmem Lúcia; MIYZAKI, Leda Correia Pedro (orgs.). Espaço geográfico e dinâmicas ambientais: usos e apropriação dos recursos naturais no Centro-Norte do Brasil.* Ituiutaba: Barlavento, 2020, cap. 7, p. 148-167. Disponível em: < <https://clubedeautores.com.br/livro/espaco-geografico-e-dinamicas-ambientais>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

SANTOS, Luiz Eduardo Neves dos; COSTA, Maria Clélia Lustosa. Em busca da cidade moderna: a remodelação urbana de São Luís durante a Era Vargas (1936-1945). **Geosul**, Santa Catarina, v. 35, n. 76, p. 637-661, outubro 2020. Disponível em:< <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/71992>>. Acesso em: 11 fev. 2021.

SANTOS, Michele. Processos Minerários em Disponibilidade ANM. Blog Jazida. 2019. Disponível em: < <https://blog.jazida.com/disponibilidade-de-areas-leilao-anm/>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

SANTOS, Milton **A natureza do espaço.** São Paulo: Hucitec, 1996.

_____. **Espaço e método.** São Paulo: Nobel, 1985.

_____. **Pensando o Espaço do Homem.** São Paulo: Hucitec, 1980.

_____. Por uma geografia nova. 4ª.ed. São Paulo: Hucitec, 1996.

_____. A Natureza do Espaço. Técnica e Tempo. Razão e Emoção. 2º ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

_____. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção.** São Paulo: Edusp, 2002.

SCHIAVO, Bruna Nascimento de Vasconcellos *et al.* Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria-RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria**, v. 20, n. 1, p. 464-473, 2016. Disponível em: < file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/19981-101942-1-PB.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020.

SILVA, Armando Correa da. As Categorias como Fundamentos do Conhecimento Geográfico. *In:* SANTOS, Milton; SOUZA, Maria Adélia. A. (Orgs.). **Espaço Interdisciplinar.** São Paulo: Nobel, 1986.

SILVA, Jorge Xavier da. O que é Geoprocessamento? **Revista Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro p. 42-44, 2011. Disponível em: < http://www.ufrj.br/lga/tiagomarino/artigos/oqueegeoprocessamento.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2020.

SILVA, P. Z. F. **Mapeamentos Aplicados À Vulnerabilidade Ambiental Aos Processos Erosivos Lineares (Sulcos, Ravinas E Voçorocas) Da Bacia Hidrográfica Do Rio Dos Cachorros, Ilha Do Maranhão.** 2020. Relatório de Iniciação Científica - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís. 2020.

_____. **Vulnerabilidade Socioambiental aos Processos Erosivos Lineares na Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão.** 2021. Monografia (Graduação em Geografia) -: Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

_____.; FUSHIMI, M. Mapeamentos Aplicados À Vulnerabilidade Ambiental Aos Processos Erosivos Lineares (Sulcos, Ravinas E Voçorocas) Da Bacia Hidrográfica Do Rio Dos Cachorros, Ilha Do Maranhão. *In:* SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), 31, 2019, Maranhão, São Luís. **Anais [...].** Maranhão, São Luís: EDUEMA, 752-754, 2019. Disponível em: < https://www.ppg.uema.br/?page_id=564>. Acesso em: 01 ju. 2020.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão.** 2012. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SILVEIRA, André L. L da. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. *In:* TUCCI, CARLOS E.M (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, cap. 2, p. 35-51.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DA Mineração – SIGMINE, AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. – AMN Disponível: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em: 01 abr.2021.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH - SP). **Processos Erosivos nas Encostas**, 2014. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6997/Processos_Erosivos_nas_Encostas.html>. Acesso em: 01 de dez. 2020.

SOUZA, Marcelo Lopes de. Articulando ambiente, território e lugar: A luta por justiça ambiental e suas lições para a epistemologia e a teoria geográficas. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 16, 2020. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/ambientes/article/view/25277>. Acesso em: 02 fev. 2022.

_____. O que é a Geografia Ambiental? **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, Paraná, v. 1, n. 1, p. 14.-37, 2019. Disponível em: < <http://e-revista.unioeste.br/index.php/ambientes/article/view/22684>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

_____. Quando o trunfo se revela um fardo: reexaminando os percalços de um campo disciplinar que se pretendeu uma ponte entre o conhecimento da natureza e o da sociedade. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 274-308, ago. 2018. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/147381>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

SOUZA, Vladimir de; GASPARETTO, Nelson Vicente Lovatto. APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO (EUPS) NA BACIA DO CÓRREGO PINHALZINHO SEGUNDO, NOROESTE DO PARANÁ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v.13, n.13, p. 267-278, Julho-Setembro 2012. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/191>>. 11 jun. 2020.

SPOHR, R.B.; CARLESSO, R.; ELTZ, F.L.F.; BROETTO, T.; Flores, C.H; KNIES, A.E. Escoamento superficial e infiltração de água no solo sob chuva simulada no Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Rio Grande do Sul. **Resumos expandidos**. Rio Grande do Sul, SBCS, 1-6, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/35161>>. Acesso em: 18 set. 2020.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo–Solo com Aplicação de três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**, 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, FFLCH, São Paulo, 2001.

STRAHLER, A. N. *Climate, and their classification. Physical geography*, 2 ed., New York: John Wiley, p. 181-193, 1960.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. DE PAULA, Cristiano Quaresma. Geografia e questão ambiental, da teoria à práxis. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, Paraná, v. 1, n. 1, p. 79-102, 2019. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/ambientes/article/view/22686/14251>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

_____. Espaço geográfico uno e múltiplo. *Rev. Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona, n. 93, p. 1-10, julho 2001. Disponível em: <

<http://www.ub.edu/geocrit/sn-93.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

_____. Meio, ambiente e geografia. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021., cap. 7, p.91 – 96.

_____. NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra Livre**, São Paulo, v. 2, n. 17, p. 11-24, 2001. Disponível em: <<https://web.ua.es/va/giecryal/documentos/documentos839/docs/a-natureza-da-g-f-na-geografia.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

_____. **Religar a Geografia: natureza e sociedade**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2017.

_____. Tempos longos. Tempos curtos... Na análise da natureza. **Geografares**, [S. l.], n. 3, p. 159-163, junho 2002. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/1125>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SUMÁRIO EXECUTIVO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE): etapa Bioma Amazônico. CATUNDA, Paulo Henrique de Aragão; DIAS, Luiz Jorge Bezerra da Silva (orgs.). São Luís: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), 2019.

THOMPSON, Dayse; FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLOS POR MEIO DA EQUAÇÃO UNICVERSAL DE PERDAS DE SOLOS (USLE) COM USO DO INVEST PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPI-MACACU – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10, 2013. Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, **Publicações** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 1-7, 2013. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/980431/estimativa-da-perda-de-solos-por-meio-da-equacao-universal-de-perdas-de-solos-usle-com-uso-do-invest-para-a-bacia-hidrografica-do-rio-guapi-macacu>>. Acesso em: 05 jun. 2020.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria Técnica, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), 1977.

UEMA, Diogo Yukio; GASPARETTO, Nelson Vicente Lovatto. ANÁLISE QUANTITATIVA DE PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DE PRIMEIRA ORDEM DO CÓRREGO ZAÚNA - MARINGÁ (PR). **Boletim de Geografia**, Paraná, v. 38, n. 2, p. 49-63, dezembro. 2020. Disponível em: < <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/41511>>. 19 mai. 2021.

VILLWOCK, J. A. *et al.* Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C. R. G. *et al.* (Eds.) **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto, SP: Holos, 2005. p. 94-107.

WHITEHEAD, Alfred North. Natureza e pensamento. In: WHITEHEAD, Alfred North. **O conceito de natureza**. Tradução Júlio B. Fischer. 1. ed brasileira. São Paulo: Martins Fontes, 1994, cap. 1, p. 5-32.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. *Agricultural Handbook*. n. 537, Washington: USDA, 1978.

ZAPAROLI, Fabiana Cristina Meira; CREMON, Édipo Henrique. Análise Comparativa Entre Quatro Metodologias de Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jangada, Noroeste Paulista. *In*: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 3, 2007, Minas Gerais. **Anais [...]** Minas Gerais: 1-18, 2007. Disponível em: < <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/8/10/6.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2021.