

MAPEAMENTO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESTADO DO MARANHÃO



SEPE

SECRETARIA DE ESTADO DE
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

IMESC

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS
SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS

**GOVERNADOR DO ESTADO DO
MARANHÃO**

Flávio Dino de Castro e Costa

**VICE-GOVERNADOR DO ESTADO DO
MARANHÃO**

Carlos Orleans Brandão Junior

**SECRETÁRIO DE ESTADO DE
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS**

Luís Fernando Silva

**PRESIDENTE DO INSTITUTO
MARANHENSE DE ESTUDOS
SOCIOECONÔMICOS E
CARTOGRÁFICOS**

Dionatan Silva Carvalho

**DIRETOR DE ESTUDOS AMBIENTAIS E
CARTOGRÁFICOS**

Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

DIRETOR DE ESTUDOS E PESQUISAS

Hiroshi Matsumoto

COORDENAÇÃO

José de Ribamar Carvalho dos Santos

ELABORAÇÃO

Cristiane Mouzinho Costa
Danyella Vale Barros França
Elenice Oliveira Caridade
Elison André Leal Pinheiro
Geyce Mara Ferreira Gatinho
José de Ribamar Carvalho dos Santos
Ricardo Gonçalves Santana

ELABORAÇÃO DE MAPAS

Elison André Leal Pinheiro
Vitor Raffael Oliveira de Carvalho

REVISÃO DE LINGUAGEM

Carla Vitória Mendes
Yamille Priscilla Castro Oliveira

NORMALIZAÇÃO

Dyana Pereira

CAPA/DIREÇÃO DE ARTE

Herbet Machado

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC

Mapeamento de áreas potenciais para implantação de Aterros Sanitários
no Estado do Maranhão / Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos
e Cartográficos-IMESC. — São Luís: IMESC, 2021.

ISBN 978-65-87226-25-5

87 p.

1. Aterros sanitários 2. Resíduos sólidos I. Maranhão

CDU: 628.472 (084.3) (812.1)

APRESENTAÇÃO

O Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC, juntamente com a Secretaria de Estado de Programas Estratégicos – SEPE, com o objetivo de contribuir para as políticas públicas do estado no que se refere ao correto descarte final dos resíduos sólidos, apresentam o estudo sobre as áreas potenciais para implantação de aterros sanitários.

O trabalho traz metodologia de classificação de áreas aptas para construções de Aterros Sanitários no Maranhão e especializa-se entre as quatro microrregiões de Saneamento: **Microrregião de Saneamento Sul Maranhense** a qual engloba a Amazônia Maranhense, Tocantins Maranhense, Serras, Alpercatas, Sertão Maranhense e Gerais de Balsas; **Microrregião de Saneamento Centro-Leste Maranhense** a qual abrange Timbiras, Médio Parnaíba Maranhense, Mearim, Médio Mearim e Guajajaras; **Microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense** - Pindaré, e Gurupi Maranhense; **Microrregião de Saneamento Norte Maranhense** - Cocaís, Baixo Parnaíba Maranhense, Delta das Américas Reentrâncias Maranhenses, Baixada Maranhense, Campos e Lagos, Região Metropolitana da Grande São Luís, Médio Itapecuru e Lençóis Maranhenses.

Em seguida, o trabalho expõe os aspectos gerais dos aterros sanitários e dos resíduos sólidos, apresentando informações acerca da classificação, gerenciamento e vantagens que esses aterros manifestam ao meio ambiente, bem como a correta gestão para o descarte final dos resíduos. As informações contidas no estudo também contribuem diretamente na formação dos consórcios municipais dos 217 municípios do estado.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Margens da Rodovia BR 222 no município de Bom Jesus das Selvas.....	37
Figura 2 - Lago São Jerônimo no município de Santa Helena e Trecho do Rio Pindaré no Município de Pindaré-Mirim.....	38
Figura 3 - Cidade de Imperatriz - MA.....	39
Figura 4 - Parque Nacional Lençóis Maranhense.....	39
Figura 5 - Vista aérea da Terra Indígena Araribóia.....	40
Figura 6 - Área de Silvicultura margens da Estrada de Ferro Carajás no município de São Pedro da Água Branca	42
Figura 7 - Uso e cobertura da terra no Município Senador La Roque.....	42
Figura 8 - Praia do Outeiro município de Cedral MA.....	43
Figura 9 - Grau de Declividade da unidade de relevo do Município de Lago da Pedra.	48
Figura 10 - Grau de Declividade da unidade de relevo do Município de Santa Luzia... ..	48
Figura 11 - Esquema simplificado do modelo de identificação de áreas propícias para construção de aterros sanitários.....	49



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Base de dados mediante aos critérios ambientais, econômicos e sociais..... 34

Quadro 2 - Localização dos Aeroportos, Aeródromos e Helipontos do Estado do Maranhão.... 86



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos para as classes de uso e cobertura da terra no estado do Maranhão	41
Tabela 2 - Nota para a variável geologia.....	44
Tabela 3 - Nota para a variável profundidade efetiva do solo.....	45
Tabela 4 - Notas atribuídas para variável textura do solo	46
Tabela 5 - Notas para a variável declividade	47
Tabela 6 - Áreas mapeadas para aterros sanitários no Estado do Maranhão.....	52
Tabela 7 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Norte Maranhense	54
Tabela 8 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Noroeste Maranhense.....	57
Tabela 9 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Centro-Leste Maranhense	59
Tabela 10 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Sul Maranhense.....	61
Tabela 11 - Localização dos Ecoponto de São Luís - MA.....	81
Tabela 12 - Valores de Coeficiente de Permeabilidade de Solos (k)	83
Tabela 13 - Projeção da População e produção de Resíduos Sólidos Para o Ano de 2040.....	84
Tabela 14 - Projeção Populacional, produção per capita de produção e coleta de lixo para o ano de 2040, volume / peso específico e tamanho de área para implantação de aterros sanitários ...	85



LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização dos Aeroportos e Aeródromos no Estado do Maranhão	36
Mapa 2 - Áreas indicadas para aterros sanitários no estado do Maranhão.....	53
Mapa 3 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião norte maranhense	55
Mapa 4 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião Noroeste maranhense	58
Mapa 5 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião Centro-Leste maranhense....	60
Mapa 6 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião Sul maranhense	62



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	9
2.	RESÍDUOS SÓLIDOS E DESTINAÇÃO FINAL	11
2.1.	Definições e Conceitos	11
2.2	Classificação dos Resíduos segundo a Periculosidade.....	12
2.3	Legislação	12
2.4	Tratamento e disposição final dos resíduos sólidos	17
2.4.1	Compactação e Trituração	18
2.4.2	Incineração.....	18
2.4.3	Compostagem.....	18
2.4.4	Reciclagem e Coleta Seletiva.....	19
2.4.5	Lixão	20
2.4.6	Aterro Controlado	21
2.4.7	Aterros sanitários	21
3.	ASPECTOS DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO..	23
3.1.	Aspectos Geológicos.....	23
3.2.	Aspectos Geomorfológicos	24
3.3.	Aspectos Pedológicos	25
3.4.	Aspectos Climáticos	26
3.5.	Recursos Hídricos Superficiais	27
3.6.	Recursos Hídricos Subterrâneos	27
3.7.	Uso e cobertura da terra	28
4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	30
4.1.	Cálculo da projeção da população e produção de lixo para 2040	31
4.1.1.	Cálculo da população.....	31
4.1.2.	Cálculo da produção de lixo	32
4.1.3.	Cálculo do volume de lixo (m ³ /dia).....	32
4.1.4.	Cálculo da área mínima para Aterro Sanitário.....	33
4.2.	Critérios de seleção das áreas de aterros sanitários	33
4.2.1	Restrições	35
4.2.2	Fatores e critérios de análise fatorial	41
4.2.3	Modelo adotado para seleção de áreas para construção de aterros sanitários	49
5.	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS NA MICRORREGIÃO DE SANEAMENTO	51



5.1. Microrregião de Saneamento Norte Maranhense	54
5.2. Microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense	56
5.3. Microrregião de Saneamento Centro-Leste Maranhense.....	59
5.4. Microrregião de Saneamento Sul Maranhense.....	61
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	64
CADERNO DE MAPAS	67
ANEXOS	80



1. INTRODUÇÃO

Uma das questões mais importantes inseridas na Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, é a necessidade de implantação de aterros sanitários no Brasil em substituição aos lixões a céu aberto como medida de proteção ao meio ambiente. Assim sendo, a Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010a), determina em seu artigo nº 53, a “disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, [...]”. A alocação final dos resíduos sólidos consiste em um mecanismo essencial na busca de soluções para um dos mais graves problemas ambientais do Brasil - o destino final dado aos resíduos sólidos. De acordo com a Legislação Brasileira, o aterro sanitário é uma técnica ambientalmente correta utilizada para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, uma vez que são utilizadas tecnologias que evitam a contaminação do solo, dos cursos d’água e ainda previne danos à saúde pública. A não adequação ao que se propõe a Lei estará sujeita à sanções penais previstas na Lei nº 9.605 (BRASIL, 1998), popularmente conhecida como Leis de Crimes Ambientais.

A Lei 12.305/2010 classifica os resíduos quanto à origem, indicando o local onde eles são gerados, e quanto à periculosidade, determinando as características dos resíduos considerados perigosos. Dessa forma, para cada classificação existe uma destinação mais adequada para os resíduos sólidos, com a finalidade de não prejudicar a saúde humana e o meio ambiente (BRASIL, 2010a)

Segundo Silva e Zaidan (2011, p.265), “o aterro sanitário é a forma de dispor o lixo sobre o solo, compactando-o com trator, reduzindo-o ao menor volume permissível e recobrando-o com camada de terra compactada, na frequência necessária de modo a ocupar menor área possível”. Por sua vez, Fiorillo (2011, p. 359) expõe que “aterros sanitários são os locais especialmente concebidos para receber lixo e projetados de forma que se reduza o perigo para a saúde pública e para a segurança”, tendo por objetivo a disposição dos resíduos sólidos no solo, em prol de garantir a preservação ao meio ambiente e a saúde pública, bem como cita a legislação brasileira.

Ressalta-se que, o aterro sanitário é um tratamento baseado em técnicas sanitárias de impermeabilização do solo, sendo realizado uma compactação e acumulação diária de lixo, formando células, afim de evitar a proliferação de ratos, moscas, exalação de mau cheiro, contaminação dos lençóis freáticos, e conseqüentemente o surgimento de doenças.



Os prazos postos pelo novo marco legal (Lei 14.026/2020) para o fim dos lixões no país é o ano de 2021 para capitais e Regiões Metropolitanas e 2024 para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010.

Um dos pontos principais do trabalho, é a identificação dos locais tecnicamente mais adequados para as construções dos aterros sanitários, o que visa contribuir para a correta aplicação de políticas públicas ligadas aos resíduos sólidos para o estado e também para os municípios.



2. RESÍDUOS SÓLIDOS E DESTINAÇÃO FINAL

2.1. Definições e Conceitos

Os principais conceitos usados nesse trabalho seguem o que diz a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Art. 3º:

V - Coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

VII - Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, SNVS e Suasa, entre elas, a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - Disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

IX - Geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;

X - Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

XIV - Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XV - Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;



XVI - Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

2.2 Classificação dos Resíduos segundo a Periculosidade

A norma NBR 10004, de 1987 (ABNT, 2004), classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, ou seja, quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, tendo assim, esses resíduos um manuseio e destinação adequados.

- **Resíduos perigosos** - apresentam periculosidade, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;
- **Resíduos não perigosos** classificam-se em:
 - Não inertes** - apresentam características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
 - Inertes** - são aqueles que, baseado em suas características, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

2.3 Legislação

A necessidade de organizar os diversos temas relacionados ao meio ambiental traz a importância da Legislação de Resíduos Sólidos nos diversos eixos hierárquicos:

Constituição Federal

- Constituição Federal, artigos 23, inciso VI - “competete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas”;
- Constituição Federal, artigo 24 - estabelece a competência da União, dos Estados e do Distrito Federal em legislar concorrentemente sobre “(...) proteção do meio ambiente e controle da poluição” (inciso VI); e,
- Constituição federal, artigo 30, incisos I e II - estabelece que cabe ainda ao poder público municipal “legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a



legislação federal e a estadual nº que couber”.

- Constituição Federal, artigo 225 – “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Leis Federais

- Lei Federal nº 6.938, de 31/8/81 - dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, institui a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental, com a criação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA); institui licenças a serem obtidas ao longo da existência das atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental;
- Lei de Crimes Ambientais (9.605 de fevereiro de 1998) - dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências.
- Lei de Crimes Ambientais - artigo 54, § 2º inciso V, penaliza o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos; § 3º do mesmo artigo, a lei penaliza quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreparável.
- Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305 de 02/08/2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências;
- Decreto Federal 5.940, de 25 de outubro de 2006 - Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências;
- Lei 9.985/2000, de 18/07/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação.
- Decreto Federal 7.404/10, de 23/12/2010, que regulamenta a Lei no 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial



da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

- Programa Pró-Catador - Decreto 7.405/10;
- Lei 14.026, de 15/07/2020 Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

Resoluções CONAMA

- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 404, de 11 de novembro de 2008 – Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 358, de 29 de abril de 2005 - Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307, de 05 de outubro de 2002. – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 316, de 29 de outubro de 2002. - Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 308, de 21 de março de 2002. – Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 283, de 12 de julho de 2001. Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 283 - Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 308 - Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 6 - Dispõe sobre o controle de licenciamento de atividades industriais geradoras de resíduos.



ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

- ABNT NBR 16849:2020, 10/02/2020 - Resíduos sólidos urbanos para fins energéticos – Requisitos.

Esta Norma estabelece os requisitos para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos com ou sem incorporação de outros resíduos classe II - Não perigosos, abrangendo os aspectos de elegibilidade de resíduos, registros e rastreabilidade, amostragem e formação dos lotes, armazenamento, preparo de resíduos sólidos urbanos para fins energéticos (RSUE), classificação dos lotes gerados e uso do RSUE nas unidades de recuperação energética (URE), respeitando a hierarquia de gestão e gerenciamento de resíduos.

- ABNT NBR 10004:2004, 31/05/2004 - Resíduos sólidos - Classificação.

Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

- ABNT NBR 10005:2004, 31/05/2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido.

Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004 como classe I - perigosos - e classe II - não-perigosos.

- ABNT NBR 10006: 2004, 31/05/2004 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados na NBR 10004 como classe II A - não-inertes - e classe II B - inertes.

- ABNT NBR 10007:2004, 31/05/2004 – Amostragem de resíduos sólidos.

Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos.

- ABNT NBR 13896:1997, 30/06/1997 – Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.

Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas.

- ABNT NBR 13463:1995, 30/09/1995 – Coleta de resíduos sólidos.



Esta Norma classifica a coleta de resíduos sólidos urbanos dos equipamentos destinados a esta coleta, dos tipos de sistema de trabalho, do acondicionamento destes resíduos e das estações de transbordo.

- ABNT NBR 12980:1993, 30/08/1993 – Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos - Terminologia.

Esta Norma define os termos utilizados na coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos.

- ABNT NBR 12235: 1992, 30/04/1992 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos - Procedimento.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para o armazenamento de resíduos sólidos perigosos de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente.

- ABNT NBR 11174: 1990, 30/07/1990 – Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes - Procedimento.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para obtenção das condições mínimas necessárias ao armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes, de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente.

- ABNT NBR 11175: 1990, 30/07/1990 – Incineração de resíduos sólidos perigosos - Padrões de desempenho – Procedimento.

Esta Norma fixa as condições exigíveis de desempenho do equipamento para incineração de resíduos sólidos perigosos, exceto aqueles assim classificados apenas por patogenicidade ou inflamabilidade.

- ABNT NBR 10157:1987, 30/12/1987 – Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação - Procedimento.

Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para projeto e operação de aterros de resíduos perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas.

Legislação do Estado do Maranhão

- Decreto Nº 13.789, de 30/03/1994 - Cria o projeto de reciclagem de papel no âmbito da administração pública estadual direta e indireta, regulamenta o seu funcionamento e dá outras providências;
- LEI Nº 8.521 de 30/11/2006 - Dispõe sobre a produção, o transporte, o



armazenamento, a comercialização, a utilização, o destino final dos resíduos e embalagens vazias, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes afins, no Estado do Maranhão, e dá outras providências.

- DECRETO ESTADUAL Nº 23.118 de 29/05/2007 - Regulamenta a Lei nº 8.521, de 30 de novembro de 2006, que dispõe sobre a produção, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a utilização, o destino final de resíduos e embalagens, o controle, a inspeção, a fiscalização de agrotóxicos, de seus componentes e afins, e dá outras providências;
- PORTARIA ESTADUAL Nº 111 de 29/12/2008 - dispõe sobre todas as instalações de produção de ferro gusa, em operação, ficam obrigadas à promoção de melhorias de processo, à instalação de equipamentos de controle, à disposição adequada de resíduos, ao monitoramento e às demais medidas necessárias ao cumprimento integral da legislação ambiental;
- LEI ESTADUAL Nº 5.253 de 29/10/1991. - Dispõe sobre a conduta quanto ao lixo hospitalar.

2.4 Tratamento e disposição final dos resíduos sólidos

A destinação final dos resíduos sólidos tornou-se um problema social, ambiental e de saúde pública, dessa forma, diversas propostas estão sendo desenvolvidas visando o manejo de desenvolvimento sustentável para o gerenciamento de lixo. Muitas das propostas ocorreram na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e para o Desenvolvimento – ECO 92. Dentre as questões mais discutidas nesta conferência, foi a produção de resíduos sólidos.

Alinhada às questões ambientais direcionadas ao desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas juntamente ao Brasil, vem esforçando-se para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, os quais abordam os principais desafios enfrentados pela população no Brasil e no Mundo. Entre os 17 objetivos, este trabalho se alinha com o objetivo 12, que tem como proposta assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, o que propõe a redução da geração de resíduos sólidos por meio da prevenção, redução, reciclagem, reuso e ampliação da cobertura de atendimento dos serviços de limpeza.

Com o crescimento demográfico e do mercado de bens e consumo, principalmente nos grandes centros urbanos, houve o aumento na produção de lixo, o que resulta na destinação indiscriminada dos resíduos sólidos em ambientes irregulares, como os lixões. Em boa parte dos municípios brasileiros, assim como no estado do Maranhão, diversos municípios depositam



os resíduos sólidos em lixões. Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE, 65% dos municípios maranhenses têm como destinação final dos resíduos sólidos os lixões, 4% em aterros sanitários e 3% em aterros controlados, os demais municípios não possuem informações sobre a destinação final do lixo.

Desse modo, destaca-se as formas de tratamento, transportes e destinação final comumente utilizadas para a disposição final do lixo. Dentre as mais conhecidas temos:

2.4.1 Compactação e Trituração

Esses dois processos consistem na redução do volume devido à compactação (amassando e ou esmagando) e triturando (diminuindo o tamanho), o que facilita o transporte dos resíduos para o local da destinação final.

2.4.2 Incineração

A proposta de incineração visa a queimada controlada em fornos devidamente projetados para os resíduos sólidos em materiais inertes, resultando em volume e peso menores. Em tese, esta proposta parece ser viável para determinadas áreas onde não há locais propícios para implantação de aterros sanitários, porém, a implantação e operação desses fornos de incineração possuem custo elevados, o que encarece a implantação das mesmas, haja vista que este mecanismo apresenta risco de poluição atmosférica, quando não for operado adequadamente.

As principais vantagens e desvantagens do processo de incineração são: a redução do custo de transporte, volume e peso, eliminação segura dos resíduos, geração de energia e o funcionamento da central de trituração opera independente de condições meteorológicas. Entre as desvantagens, pode-se destacar o alto custo de implantação e operação e disposição final das cinzas, além da necessidade de tecnologia especializada para controle da poluição do ar.

2.4.3 Compostagem

O método de destinação do lixo por meio da compostagem é considerado como a decomposição do material orgânico. Este composto, sob condições adequadas, pode ser utilizado como adubo na agricultura, além de possibilitar a redução do lixo a ser descartado de maneira inadequada ou em aterros sanitários, o que pode ser utilizado na adubagem da terra, descartando apenas o que for rejeitado no processamento.



As principais vantagens para se utilizar o processo de compostagem são: diminuição da quantidade de resíduos sólidos, o que possibilita reaproveitamento, tratamento, geração de compostos orgânicos e reutilização como adubagem do solo. As desvantagens são a necessidade de um controle operacional eficaz no processo de triagem prévia e nas condições de comercialização.

2.4.4 Reciclagem e Coleta Seletiva

O mecanismo adotado pela reciclagem é uma importante forma de reaproveitar materiais de valores econômicos. A demanda deste mecanismo representa um fator importante na redução dos resíduos sólidos dentro do próprio sistema de limpeza urbana do município, além de ter forte aceitação entre as empresas no Brasil e no mundo. Entre as vantagens sociais, econômicas e ambientais podem ser destacadas, a redução do custo de coleta, aumento da vida útil dos aterros sanitários, reutilização de materiais de valor, diminuição do custo de produção e a própria dinamização da economia local.

A coleta seletiva é uma alternativa para a solução de parte do problema dos resíduos sólidos urbanos, com ela, é possível a separação dos materiais recicláveis e da matéria orgânica, os demais materiais não reaproveitáveis, chamados de rejeitos, encontram destinação adequada nos aterros sanitários.

A coleta seletiva é a primeira etapa para o correto processo de reciclagem. Nesta etapa ocorre a separação dos materiais recicláveis dos não recicláveis, onde o resíduo que pode ser aproveitado deixa de ser uma fonte de degradação para o meio ambiente tornando-se uma solução econômica e social (OBLADEN; OBLADEN; BARROS, 2009). Esta etapa é fundamental para o gerenciamento dos resíduos sólidos, uma vez que a segregação maximiza as possibilidades da reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos, minimizando a quantidade de material descartado. No entanto, esse tipo de coleta, para ser efetivo, requer nível elevado de conscientização e colaboração da população para o cumprimento das normas de seleção dos resíduos (IBAM, 2001).

Vale ressaltar que o programa de coleta seletiva, para que obtenha bons resultados, o poder público deve manter a população permanentemente mobilizada por meio de campanhas de sensibilização e de educação ambiental (IBAM, 1991).

A coleta seletiva depende de vários fatores:

- Programa de educação ambiental que possa envolver a comunidade;
- Programa de logística de coleta;



- Sistema de escoamento (destinação) da produção.

A separação dos materiais recicláveis nas fontes geradoras, de acordo com (IBAM, 1991, 2001) pode ser feita de duas formas:

- Acondicionando (plástico, papéis, vidros, etc.), que visa transportar os materiais separadamente.
- Separando-se os resíduos domésticos em materiais orgânicos (úmidos) e materiais recicláveis (secos).

Com o lixo devidamente classificado é possível agregar valor no processo de comercialização dos materiais reciclados. De forma geral, a coleta seletiva e a reciclagem possuem um papel fundamental na recuperação de matéria-prima e a reutilização em outros meios, o que resulta no controle de impactos ambientais, menor quantidade de rejeitos e economia no processo de triagem do lixo.

Atualmente, na capital São Luís, existem os postos de Entrega Voluntária – PEVs, também chamados de ECOPONTOS, há em operação 26 PEVs (Tabela 11 – Anexo). Além da capital São Luís, o município de Imperatriz conta ainda com outros 12 ecopontos e 15 estabelecimentos parceiros¹ na destinação espontânea dos resíduos sólidos recicláveis, esta ação, conta, em grande parte, com a participação da população, uma vez que nestes locais é possível destinar plásticos, papel, papelão, vidros, metais e etc. É importante que a instalação destes pontos tenha acesso fácil e que sejam locais frequentados por muitas pessoas diariamente.

Mesmo diante de tais iniciativas, o lado positivo no processo de reciclagem são a redução do custo de coleta, aumento de vida útil do aterro sanitário, reutilização de bens que são normalmente descartados, diminuição do custo de produção devido ao reaproveitamento de produtos recicláveis pelas indústrias, dinamização da economia e surgimento de empresas especializadas em reciclagem de produtos, além da diminuição no custo de importação de matéria prima na exploração de produtos naturais.

2.4.5 Lixão

Lixão é uma forma inadequada de disposição final dos resíduos sólidos, caracterizada pela descarga em determinadas áreas, sem medidas de proteção ao meio ambiente e proteção à

¹ Empresas do setor elétrico, supermercado e lojas realizam a coleta de lâmpadas, pilhas, baterias e celulares, papéis.



saúde pública (IPT, 2018). A ausência de controle nestas áreas acarreta problemas a saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças (moscas, baratas, urubus, ratos e etc.), além de maus odores, poluição do solo e de águas superficiais e subterrânea por meio de chorume, que é um composto líquido decorrente da decomposição da matéria orgânica contida no lixo.

Advinda da atual situação na qual se encontra os lixões, além de dano ambiental, é possível observar, nestas áreas, a presença de catadores de lixo, em busca de materiais recicláveis com aproveitamento econômico, os quais, muita das vezes, residem nesses locais que são totalmente insalubres. Ainda nestes ambientes, é possível encontrar a disposição de resíduos hospitalares, industriais e carcaças de animais advindos de matadouros irregulares na própria região, tais como a disposição que vai em oposição ao que rege as normas vigentes na própria legislação (ABNT, 1990, 1995, 2009).

2.4.6 Aterro Controlado

Aterro controlado é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, que causa menores danos ou riscos à saúde pública e à segurança, procurando minimizar os impactos ambientais (IPT, 2018). Basicamente, este método utiliza mecanismo de engenharia para confinar os resíduos em células (buracos) sendo cobertos por camadas de areia. Apesar de que esta técnica produz uma poluição localizada, ela pode comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, tendo em vista que neste processo não há impermeabilização da base onde o lixo será depositado nem tratamento de chorume e gases gerados.

A utilização deste método de destinação final de resíduos sólidos é preferível ao lixão, pois, impede a exposição ao ar livre por meio da sua cobertura com uma camada de areia, diminuindo os odores espalhados do lixo em decomposição, o que evita incêndios e impede a proliferação de vetores nocivos do ponto de vista sanitário. Porém, no ponto de vista ambiental, pode ocorrer a contaminação dos recursos hídricos e o custo de operação é maior que o lixão e inferior ao aterro sanitário.

2.4.7 Aterros sanitários

Reforçando a ideia de Fiorillo (2011, p. 359) “aterros sanitários são os locais especialmente concebidos para receber lixo e projetados de forma a que se reduza o perigo para a saúde pública e para a segurança”, tendo por objetivo a disposição dos resíduos sólidos no



solo, em prol de garantir a preservação do meio ambiente e da saúde pública, já que são menos nocivos ao meio ambiente, uma vez que **são construídos para evitar a contaminação do solo, da água e do ar.**

Assim sendo, o processo realizado para a existência de um aterro sanitário se dá por uma manta plástica impermeável, evitando que o chorume produzido adentre o solo e chegue aos lençóis freáticos. Ademais, deve conter um **sistema de drenagem pluvial** nos aterros sanitários, impedindo o contato entre o lixo e a água da chuva, o que evita a contaminação.

Um aterro sanitário é composto, a priori, por células com impermeabilização de fundo, bem como na parte superior; dreno de chorume; sistema de coleta e queima do biogás; sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais; sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico e pátio de estocagem de materiais.

Destaca-se ainda, que o aterro sanitário deve ser construído longe de centros urbanos, em prol de evitar contato com a população, em virtude principalmente do odor causado ao ambiente. Assim sendo, é um processo que depende de vários fatores para ser implantado, como a seleção dos aspectos ambientais, técnicos, econômicos, sociais e de saúde pública que estão destacados na metodologia do trabalho.



3. ASPECTOS DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

3.1. Aspectos Geológicos

O estado do Maranhão localiza-se na porção norte da Plataforma Sul-Americana (MANTESSO-NETO et al., 2004) e está inserido principalmente na Província Parnaíba (ALMEIDA; HASUI; NEVES, 1976), apresentando quatro domínios tectônicos, conforme estudo realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais em 2012, sendo eles: Coberturas Superficiais Cenozoicas, Bacias Sedimentares Fanerozoicas, Cinturão Gurupi e o Fragmento Cratônico São Luís.

De acordo com a (CPRM, 2013) os domínios do fragmento Cratônico São Luís e do Cinturão Gurupi afloram, sobretudo, no extremo noroeste do estado, possuindo a menor representação areal, seguidos pelos domínios das coberturas superficiais cenozoicas que afloram nas porções norte, nordeste, centro-oeste e sudoeste. Os domínios das bacias sedimentares fanerozóicas, por sua vez, cobrem mais de 60% do estado, corroborando com a afirmativa de (BARBOSA; NETO; NEVES, 1987; CPRM, 2003, 2013; SCHOBENHAUS; NEVES, 2003) que apontam o Maranhão como um estado predominantemente composto por rochas sedimentares e sedimentos.

Tais rochas caracterizam-se por apresentar maior friabilidade e menor grau de resistência quando comparadas às rochas ígneas e metamórficas, possuindo maior permeabilidade e conseqüentemente mais capacidade de infiltração. Logo, as unidades de relevo que se originam a partir das formações geológicas de base sedimentar possuem maior propensão aos processos denudacionais frente ao intemperismo, bem como os solos que possuem esta base de formação podem apresentar-se com maior capacidade de infiltração devido a maior porosidade, o que poderá facilitar os processos de contaminação do mesmo.

No que diz respeito ao Domínio das Coberturas Superficiais Cenozoicas têm-se no estado os Depósitos Aluvionares, Litorâneos, Eólicos Litorâneos, Eólicos Continentais Antigos, Flúvio-lagunares, Dentrícos Indiferenciados, Colúvio-eluviais e de Pântanos e Mangues, bem como os Sedimentos Pós-Barreiras, as Coberturas Lateríticas Maturas e Imaturas, a Unidade de Terraços Fluviais e o Grupo Barreiras caracterizado pela Formação Pirabas e o Indiviso.

No Domínio das Bacias Sedimentares Fanerozóicas tem-se no estado as Bacias do Parnaíba, Sanfranciscana e de São Luís caracterizadas como emersas e as Bacias de Barreirinhas, Ilha Nova e do Pará-Maranhão como submersas.



O Domínio do Cinturão Gurupi, por sua vez, possui as Formações Piriá, Marajupema, Chega-Tudo e Chega-Tudo Vulcânica, bem como os Complexos Metamórficos Itapeva e Itapeva Xisto, os Granitos Maria Suprema e Moça, o Anfibolito Cocal e o Grupo Gurupi caracterizado pela Formação Jeritequara e o Indiviso.

Quanto ao Domínio do Fragmento Cratônico São Luís, têm-se as Formações Rio Diamante e Igarapé de Areia, bem como as Unidades Vulcânicas Rosilha e Serra do Jacaré, o Granito Negra Velha, o Microtonalito Garimpo Caxias, as Suítes Intrusivas Tromai e Rosário, o Granófiro Piaba e o Grupo Aurizona caracterizado pelas Formações Ramos, Matará, Piracua e o Indiviso.

Em visão geral, o estado do Maranhão possui 56 unidades geológicas, segundo (CPRM, 2013), as quais estão distribuídas entre os quatro domínios tectônicos, outrora mencionados, variando conforme a natureza das rochas e idade de formação, tendo em vista que para cada Bacia Sedimentar existem Grupos e Formações que não foram aqui mencionados.

3.2. Aspectos Geomorfológicos

Associado aos aspectos geológicos têm-se a formação das unidades geomorfológicas, as quais estão diretamente correlacionadas, tendo em vista que o relevo do estado do Maranhão pode ser representado, de maneira geral, como “baixas superfícies de aplainamento em meio a extensas planícies fluviomarinhas, baixos platôs e chapadas” (CPRM, 2013).

Esse conjunto de formas é sustentado pelos domínios tectônicos anteriormente caracterizados, como as rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas do Fragmento Cratônico São Luís e Cinturão Gurupi, as rochas paleozoicas e mesozoicas de algumas bacias sedimentares e os sedimentos mais recentes presentes nas Coberturas Superficiais Cenozoicas.

Dessa forma, o relevo maranhense possui um conjunto de superfícies tabulares, em diferentes cotas altimétricas, as quais foram dissecadas pelos processos denudacionais atuantes, além das superfícies de acumulação, as quais são caracterizadas da seguinte maneira: Planícies Fluviais ou Fluviolacustres, Planícies Costeiras e Planícies Fluviomarinhas, Campos de Dunas, Tabuleiros e Tabuleiros Dissecados, Baixos Platôs e Baixos Platôs Dissecados, Planaltos, Chapadas e Platôs, Superfícies Aplainadas Conservadas e Superfícies Aplainadas Degradadas, Inselbergs, Colina Amplas e Suaves, Colinas Dissecadas e Morros Baixos, Morros e Serras Baixas, Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos, Escarpas Serranas e Vales Encaixados.



Partindo disso, e considerando a evolução das paisagens no estado do Maranhão, com o intuito de ampliar o entendimento a respeito da geodiversidade do estado, foi proposto a compartimentação do território em 19 domínios geomorfológicos, sendo eles o domínio da Planície Costeira do Maranhão, o qual foi subdividido em Reentrâncias Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense, o domínio dos Lençóis Maranhenses e Delta do Parnaíba, domínio dos Tabuleiros Costeiros, o qual foi subdividido em Tabuleiros de Chapadinha e Tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães; domínio das Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão; domínio da Superfície Sublitorânea de Bacabal; Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba; Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim; Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba; Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; Baixos Platôs de Barra do Corda; Chapadas do Alto Rio Itapecuru; Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins; Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina; Depressão Interplanáltica de Balsas; Chapadas do Alto Rio Parnaíba e Chapada das Mangabeiras (CPRM, 2013).

3.3. Aspectos Pedológicos

No que tange aos aspectos pedológicos, eles estão diretamente correlacionados aos aspectos geológicos e a evolução das paisagens, do ponto de vista das unidades geomorfológicas, uma vez, que estes são agentes no processo de formação dos solos.

Considerando a base geológico-geomorfológica do estado têm-se como solos predominantes no Maranhão, conforme o (IBGE, 1997, 2015) os Argissolos, variando entre acinzentado, amarelo, vermelho e vermelho-amarelo, os Cambissolos, Gleissolos (tiomórfico, sálico e háplico), Latossolos (amarelo, vermelho e vermelho-amarelo), Luvisolo (crômico e háplico), Neossolos (quartzarênico, flúvico e litólico), Nitossolos, Planossolos, Plintossolos (pétrico, háplico e argilúvico) e Vertissolos.

Os Neossolos, por exemplo, podem ser encontrados no domínio geomorfológico dos Lençóis Maranhenses, sobretudo, os neossolos quartzarênicos os quais caracterizam-se por serem essencialmente quartzosos, muito profundos, com pequena adesão e coesão entre suas partículas, com baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes.

No domínio dos Tabuleiros, por sua vez, pode-se encontrar uma diversidade de solos, tendo em vista as condições geológico-geomorfológicas, bem como os usos ali estabelecidos. No estado do Maranhão, sobre este domínio geomorfológico desenvolvem-se solos muito profundos, bem drenados, muito friáveis e de baixa fertilidade natural, espessos e lixiviados



tais como os Latossolos, além de solos com gradiente textural, profundos, mais suscetíveis à erosão como os Argissolos e também solos com problemas de drenagem, como é o caso dos Plintossolos, sobretudo, os háplicos.

Nas áreas abaciadas e inundáveis que ocorrem nas depressões embutidas na superfície regional ou nos fundos de vales dos rios principais, predominam solos hidromórficos, tais como os Gleissolos em seus mais diversos níveis.

3.4. Aspectos Climáticos

A região onde localiza-se o estado do Maranhão caracteriza-se por ser uma área de transição climática, tendo em vista que determinadas localidades estão próximas ao Semiárido Nordeste, que se caracteriza como quente e seco; outras estão na região ou próximas à Amazônia, cuja peculiaridade é quente e úmida e outras já estão mais próximas ao Oceano Atlântico e ao Planalto Central Brasileiro. Nesse sentido, no que se refere às estações do ano, o estado do Maranhão não possui essas bem definidas, o mesmo caracteriza-se por apresentar apenas uma estação seca e outra úmida. Conforme (UEMA/NUGEO, 2016) o tipo climático preponderante no estado é o tropical úmido com excesso de água nos meses de janeiro a maio que se caracterizam como os meses mais chuvosos do ano, e deficiência hídrica nos meses de julho a setembro que são os mais secos do ano.

Quanto à média pluviométrica do estado, conforme (UEMA/NUGEO, 2016) chove aproximadamente 1.600 mm por ano. Sendo que na porção Norte concentram-se os maiores totais anuais de precipitação, dos quais nos setores Norte e Noroeste o acumulado anual pode alcançar 2.700 mm, e as áreas com os menores totais anuais está entre 700 e 1.200 mm. Em relação à temperatura do ar, a média é de 26,5°C, sendo os meses de setembro, outubro e novembro com as temperaturas mais elevadas, com médias anuais acima de 27°C. Sobre os meses com as temperaturas mais moderadas, estes correspondem a janeiro, fevereiro, março e abril. E em relação a umidade relativa do ar os autores supramencionados afirmam que a média anual está em torno de 80% no Estado do Maranhão, no qual os meses mais úmidos compreendem o período de janeiro a maio, com valores de aproximadamente 85% de umidade relativa do ar na porção Norte do estado devido a influência do oceano na mesma. Em contrapartida, na porção Sudeste e Sul destacam-se os municípios de Caxias, São João dos Patos e Balsas com os menores valores de umidade.



3.5. Recursos Hídricos Superficiais

O estado do Maranhão difere dos demais estados da região Nordeste no que se refere a escassez de recursos hídricos, pois possui uma ampla rede hidrográfica (UEMA/NUGEO, 2016). Ressalta-se que os rios maranhenses têm como principal singularidade o fato de serem perenes e manterem um volume expressivo de água ao longo de todo ano (SANTOS; SOUZA; FEITOSA, 2017). O referido estado possui quinze bacias hidrográficas, as quais a bacia do Parnaíba, a Leste; a Sudoeste a bacia do Tocantins; e a Noroeste a bacia do Gurupi, que correspondem às bacias hidrográficas de domínio federal. No que se refere às bacias de domínio estadual estão representadas pelos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Novo e Barro Duro, Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Peria e Grande, Sistemas de Bacias das Reentrâncias Maranhenses, e Sistema de Bacias do Golfão Maranhense, bem como as bacias hidrográficas dos rios Maracaçumé, Turiaçu, Grajaú, Mearim, Itapecuru, Peria, Preguiças e Munim (IBGE, 1997; IMESC, 2019, 2021a, 2021b; UEMA/NUGEO, 2016).

3.6. Recursos Hídricos Subterrâneos

O estado do Maranhão localiza-se quase em sua totalidade na Bacia Sedimentar do Parnaíba, na qual é uma das províncias hidrogeológicas mais importantes do Brasil. Em seu pacote de sedimentos apresenta uma espessura de 3.000 m o que garante grandes possibilidades de armazenamento e exploração das águas subterrâneas. A mesma apresenta na sua porção inferior dois importantes aquíferos, denominados de Serra Grande e Cabeças, os quais são confinados pelas unidades Pimenteiras e Longá, respectivamente. Esses últimos não são explorados no Maranhão devido a sua profundidade, que é superior a 1.000 m. Entretanto, acima desse pacote ocorrem aquíferos produtivos no estado, a saber: Poti-Piau, Sambaíba, Corda, Grajaú e Itapecuru, os quais são divididos entre si por outros menos produtivos, que se constituem pelas Formações Pedra de Fogo, Pastos Bons, Motuca e Codó, e unidades não aquíferas (CPRM, 2013; IBGE, 1997).

Tem-se ainda na Bacia Sanfranciscana a ocorrência de dois sistemas aquíferos importantes para o estado, o Barreiras, de relevância para Ilha do Maranhão e o outro ocorrente no extremo sul do estado, denominado Urucua. Tem-se ainda, os Depósitos Aluvionares e as Formações Cenozoicas Indiferenciadas, e os corpos ígneos e metamórficos, no qual os dois primeiros têm importância restrita e os demais não tem representatividade quanto à captação de



água subterrânea. Conforme a classificação das Microrregiões de Saneamento, o estado do Maranhão divide-se da seguinte maneira: Norte, Noroeste, Centro-Leste e Sul Maranhense, levando em consideração as Unidades hidrogeológicas. Em relação à representatividade produtiva, na Microrregião de Saneamento Norte Maranhense assim como na Microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense, os aquíferos aflorantes de maior relevância são o Barreiras e o Itapecuru, sendo o primeiro poroso, heterogêneo, livre, e de produtividade Moderada a Geralmente Baixa, porém, Localmente Moderada. Quanto ao Aquífero Itapecuru, caracteriza-se por ser poroso, contínuo, livre a semiconfinado, com produtividade Moderada a Geralmente Baixa, porém, localmente moderada (CPRM, 2003, 2013; IBGE, 1997; MANTESSO-NETO et al., 2004; SCHOBENHAUS; NEVES, 2003).

Na Microrregião de Saneamento Centro-Leste Maranhense, as unidades hidrogeológicas mais expressivas são os aquíferos Itapecuru e Corda. O aquífero Corda tem como característica ser poroso, livre a semiconfinado com uma produtividade geralmente baixa, porém, localmente moderada. Quanto ao aquífero Itapecuru, este já foi caracterizado anteriormente. Na Microrregião de Saneamento Sul Maranhense o aquífero Sambaíba é o que apresenta maior produtividade, devido sua alta poropermeabilidade e litologia predominantemente arenosa, portanto, tem uma potencialidade muito elevada (CPRM, 2013; MANTESSO-NETO et al., 2004).

3.7. Uso e cobertura da terra

A Microrregião de Saneamento Norte Maranhense compreende o complexo estuarino do Golfão Maranhense, Lençóis Maranhenses, Delta das Américas no Litoral Oriental e Litoral Ocidental. Os usos mais significativos, portanto, consistem na indústria, comércio, silvicultura de eucalipto e atividades de pesca. Esta microrregião também é a que mais possui áreas de Unidades de Conservação – UC dentro de seus limites, a saber: Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís, Área de Proteção Ambiental do Itapiracó, Reserva Extrativista Chapada Limpa, Área de Proteção Ambiental de Upaon-Açu / Miritiba / Alto Preguiças, Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba, Parque Estadual do Bacanga, Área de Proteção Ambiental da Foz do Rio Preguiças - Pequenos Lençóis - Região Lagunar Adjacente, Área de Proteção Ambiental da Região do Maracanã, Estação Ecológica do Sítio Rangedor, Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, Área de Proteção Ambiental dos Morros Garapenses, Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba,



Reserva Extrativista Quilombo do Frechal, Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses, Reserva Extrativista de Cururupu, e Área de Proteção Ambiental da Lagoa da Jansen.

Quanto à Microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense os usos de maior destaque são Pastagem e Formação Florestal, cuja atividade que prevalece é a Pecuária. Essa Microrregião abrange duas Unidades de Conservação estaduais, Reserva Biológica do Gurupi e Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. Além das unidades mencionadas, tem-se ainda as Terras indígenas Carú, Alto Turiaçu, Awá e Rio Pindaré inseridas nessa mesorregião.

Na porção central do estado na Microrregião de Saneamento do Centro-Leste Maranhense, o predomínio é de Formação Campestre, seguida de Florestal e Savânica. Nessa região as atividades de destaque são a pecuária e a agricultura familiar.

No que se refere à Microrregião de Saneamento Sul Maranhense os usos de maior representatividade são a Formação Savânica e Mosaicos de agricultura. Quanto às atividades predominantes tem-se a silvicultura pecuária, agricultura mecanizada (soja, milho e sorgo) e Indústria.



4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia proposta neste trabalho baseia-se em considerar múltiplos critérios para avaliar as condições ambientais e restritivas na identificação de áreas propícias para deposição de resíduos sólidos, o que considera aspectos legislativos, tamanho e extensão de área, além de condições de trajeto da área geradora de resíduos até os possíveis locais mapeados de destinação final.

As bases cartográficas adotadas neste estudo estão pautadas dentro dos critérios estabelecidos pela legislação vigente para identificação de áreas propícias para implantação de aterros sanitários. Foram selecionadas nove variáveis para elaboração deste estudo: solos, geologia, declividade, hidrografia, uso e ocupação da terra, rodovias, áreas protegidas, mancha urbana, aeroportos/aeródromos, aliada a estas variáveis foi realizado a projeção da população para o ano de 2040 estimando a vida útil do aterro sanitário para o mesmo período.

As bases cartográficas utilizadas neste trabalho são oriundas de diversas agências de estudo temáticos tais como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC, Secretaria de Meio Ambiente – SEMA, Instituto Nacional de colonização e Reforma Agrária – INCRA, Fundação Nacional do Índio – FUNAI, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, MapBioma, entre outras.

A primeira etapa deste trabalho se deu pela construção da base cartográfica com a padronização dos dados adquiridos em campo e organização das bases de instituições de pesquisas (vetorização, conversão de dados vetoriais para dados matriciais) pelo Software ArcGis 10.5 (licença Esri#543203) e Qgis 3.16.

O processo de conversão matricial prevê em especificar a resolução espacial adotado neste estudo, que no caso foi adotado resolução de 30 metros, este aspecto constitui em uma parte fundamental na aplicação de cruzamento e sobreposição das bases de dados em diferentes planos de informação. Para tais sobreposições, utilizou-se o Software Dinâmica EGO 5.0, a partir de uma modelagem e cálculos lógicos foi possível identificar áreas propícias para implantação de aterros sanitários.

Os dados qualitativos das variáveis foram transformados em valores numéricos relativos à importância das mesmas, este processo foi realizado por meio analítico (Analytic Hierarchy Process – AHP), que consiste em uma comparação “par a par” entre as variáveis, determinando



os pesos mediante ao grau de importância. Para as variáveis de caráter restritivos², foram representados por valores numéricos de 0 e 1, onde zero significa o mínimo ou ausência e 1 significa máxima adequabilidade para identificar áreas propícias para implantar aterros sanitários. Para as variáveis fatoriais foram atribuídos valores de 1 a 5 mediante o grau de importância de cada classe, onde os valores representados pelo valor 1 significa baixo grau de importância e as classes representadas pelo valor 5 significa máxima adequabilidade.

Entre os procedimentos adotados pelas variáveis descritas acima, foram avaliados a sobreposição Booleana que consiste em critérios binários (0/1), estes são adequados utilizando o operador logico de interseção (AND) e união (OR) nas equações adotadas neste estudo.

4.1. Cálculo da projeção da população e produção de lixo para 2040

A estimativa da população levou em consideração a base oficial disponibilizada no censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o estudo populacional contou com a série histórica da população urbana e rural, taxas históricas de crescimento populacional, população flutuante e temporária, além de período de ocorrência de fluxos migratórios, como resultado, obteve a estimativa da população para 2040 e a produção de lixo para o mesmo ano.

Além da projeção da população foi realizado também um estudo de projeção de demanda na produção de lixo, esta etapa levou em consideração a população atual, a taxa per capita de produção de lixo e a população futura, a partir desses dados será possível estimar a demanda de lixo e o tamanho da área necessária para implantação do aterro sanitário para cada região. Os cálculos de projeção da população e produção de lixo, estão descritos nos tópicos seguintes.

4.1.1. Cálculo da população

Considerando a vida útil de um aterro sanitário em operação no período de 2020 a 2040, é necessário estimar a progressão aritmética da população de cada Região de Saneamento para o ano de 2040, a Equação 1 é utilizada:

(1)

² A análise booleana consiste em um dado que possui dois valores (0 e 1 ou verdade ou falso), estes dados se destinam em atribuir uma lógica na variável condicionante, que pode ser compreendida neste estudo na identificação de impedimento legais para implantação de aterros sanitários.



$$P_{op(t)} = P_0 + (1 + \alpha)^t$$

Onde:

$P_{op(t)}$ = População ao final da vida útil do aterro sanitário (2040)

P_0 = População Atual (2010)

α = Taxa de crescimento anual

t = tempo em anos.

Assim, a Tabela 12 em anexo, demonstra a projeção da população e a taxa de crescimento nas regiões de saneamento para o ano de 2040. A partir da projeção da população, é possível estimar a produção per capita de lixo ($\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) de cada região.

4.1.2. Cálculo da produção de lixo

O cálculo de produção de lixo se dá pela estimativa da projeção da população e a taxa de produção de lixo da região (Equação 2). Neste cálculo não se considera as variações populacionais em áreas turísticas em alta temporada, considerando apenas a população estabelecida no estudo do censo demográfico (Tabela 13 – anexo).

(2)

$$Q_{(2010)} = P_{op(t)} * x$$

Onde:

$Q_{(2010)}$ = Produção de lixo ($\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$)

$P_{op(t)}$ = Projeção da População (2040)

x = Taxa de produção de lixo (kg/hb.dia)

4.1.3. Cálculo do volume de lixo (m^3/dia)

O cálculo de volume de lixo leva em consideração o volume de lixo compactado diariamente, adotou-se valores de peso específico de $500 \text{ a } 700 \text{ kg/m}^3$ (Tabela 14 – anexo). Assim, a fórmula de volume de lixo (m^3/dia) é dada pela equação 3 a seguir:

(3)

$$V = Q / Pe$$

Onde,

V = é a Volume de lixo compactado

Q = é quantidade de produção de lixo (kg/dia)

Pe = é o peso específico do lixo (kg/m^3)



Para estimar o volume de lixo até o período de vida útil do aterro sanitários, adotou a quantidade de dias no ano (365 dias) e multiplicou pela quantidade de anos de operação do aterro sanitário (20 anos) (Tabela 14 anexo). Assim a fórmula de volume de lixo anual é dada pela equação 4 a seguir:

$$V_{(2040)} = V_{(diário)} * 365_{(dias)} * 20_{(anos)} \quad (4)$$

4.1.4. Cálculo da área mínima para Aterro Sanitário

Para o cálculo de área mínima para o aterro sanitário é necessário que o lixo esteja compactado e tenha altura variáveis de cada célula entre 3 a 6 metros na qual pode ser empilhado (Tabela 14 anexo). É importante destacar que a escolha ideal para o tamanho adequado da célula de lixo compactado pode influenciar no tamanho da área, que pode reduzir significativamente o tamanho e extensão do aterro sanitário, portanto, foi adotado neste trabalho estas medidas para fins de melhor adequação para cada região³.

A equação 5 define a área mínima para aterro sanitário seguiu as seguintes estruturas⁴:

$$A = V/h_{(min \text{ ou } max)} \quad (5)$$

Onde,

A = área mínima par aterro sanitário

V = volume do lixo produzido

h (min ou max) = altura mínima ou máxima das células de lixo compactado

4.2. Critérios de seleção das áreas de aterros sanitários

Os critérios de seleção múltiplos levam em consideração a avaliação ambiental aptas para cada área mapeada sob os aspectos ambientais, econômicos, sociais e legislativo, tais como extensão da área, condições de trajeto entre os locais geradores de resíduos sólidos e a área de destinação final dos resíduos.

Os critérios técnicos de restrição normativos estabelecem que áreas como centros urbanos, rios, lagos e estradas precisam ter distância mínimas quantificadas, a distância

³ Não foi considerado as condições do lixo, densidade do lixo e nem quaisquer sistemas de triagem prévia.

⁴ Neste cálculo de áreas mínima não foi considerado a população na alta temporada e ou veranistas e em finais de semana ou feriados, estes dados podem superestimar os valores adotados, visto que, com o aumento da população nestes períodos específicos a demanda de lixo por habitantes tende a aumentar consequentemente.



estabelecida de centros urbanos é justificada para evita atrair animais e mau cheiro, em relação as estradas e rodovias, é necessário que as áreas mapeadas para implantação de aterros sanitários estejam próximo, uma vez que viabiliza o custo de transporte e de menor distância de acesso do centro gerador até a disposição final do resíduo coletado, quanto as áreas mapeadas é necessário também que estas estejam longe de cursos d'água afim de garantir a integridade dos rios, evitando possíveis contaminações dos leitos d'água, garantindo assim o bem estar social e ambiental.

Diante das variáveis fatoriais adotadas nestes estudos, foram atribuídas notas para cada classe dos mapas, afim de estimar o grau de importância de cada classe na indicação das áreas propícias para implantação dos aterros sanitários, em relação aos mapas restritivos, foram adotados valores de 0 e 1, onde 0 representa áreas com fator restritivos e 1 áreas propícias para implantação de aterros sanitários (Quadro 1).

Quadro 1 - Base de dados mediante os critérios ambientais, econômicos e sociais

Crítérios Ambientais	Tipo	Referências
Solos	Fatorial (1 a 5)	(ABNT, 1987)
Geologia	Fatorial (1 a 5)	(ABNT, 1987)
Hidrografia	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1987; BRASIL, 2012)
Uso e ocupação da terra	Fatorial (1 a 5)	(ABNT, 1987)
Declividade	Fatorial (1 a 5)	(ABNT, 1987)
Áreas Protegidas	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1987; BRASIL, 2012)
Crítérios Sociais	Tipo	Referências
Áreas Urbanas	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1987); (BRASIL, 2010b)
Aeroportos e Aeródromos	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1987); (CONAMA, 1995)
Crítérios econômico	Tipo	Referências
Vida útil	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1987); (BRASIL, 2010b)
Rodovias	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1987); (BRASIL, 2010b)

Fonte: Registros da Pesquisa

A seleção de áreas de aterros sanitários segue uma deliberação normativa que estabelece acesso em boas condições de tráfego ao longo do ano, além dos critérios estabelecidos no licenciamento ambiental, tais como: distância de área de recarga hidrogeológicas, plano de operação e controle, estudos dos impactos ambientais, apresentação do projeto de aterro e responsabilidade técnica (ABNT, 1987).

Diante das condições citadas acima, para a seleção de aterros sanitários, é importante considerar que a escolha do local deve atender alguns requisitos mínimos necessários:



- Vida útil superior a 20 anos;
- O local escolhido sob hipótese nenhuma deve se localizar em ambientes que sofrem intensos processos de erosão e não podem se localizar em ambientes cársticos e nem em áreas de proteção permanentes (APPs) (BRASIL, 2012);
- Em relação ao solo, a área deve apresentar baixa impermeabilidade e declividade inferior a 30% (ABNT, 1987);
- A distância mínima necessária de cursos d'água deve ser de 200 a 300 metros, seja eles rios permanente ou intermitente (ABNT, 1987; BRASIL, 2012);
- A área escolhida deve estar situada a uma distância mínima de 6 km de núcleos urbanos (ABNT, 1987);

E distância mínima de 400 metros de rodovias e estradas (ABNT, 1987).

4.2.1. Restrições

➤ **Áreas de Restrição Aeroportuária**

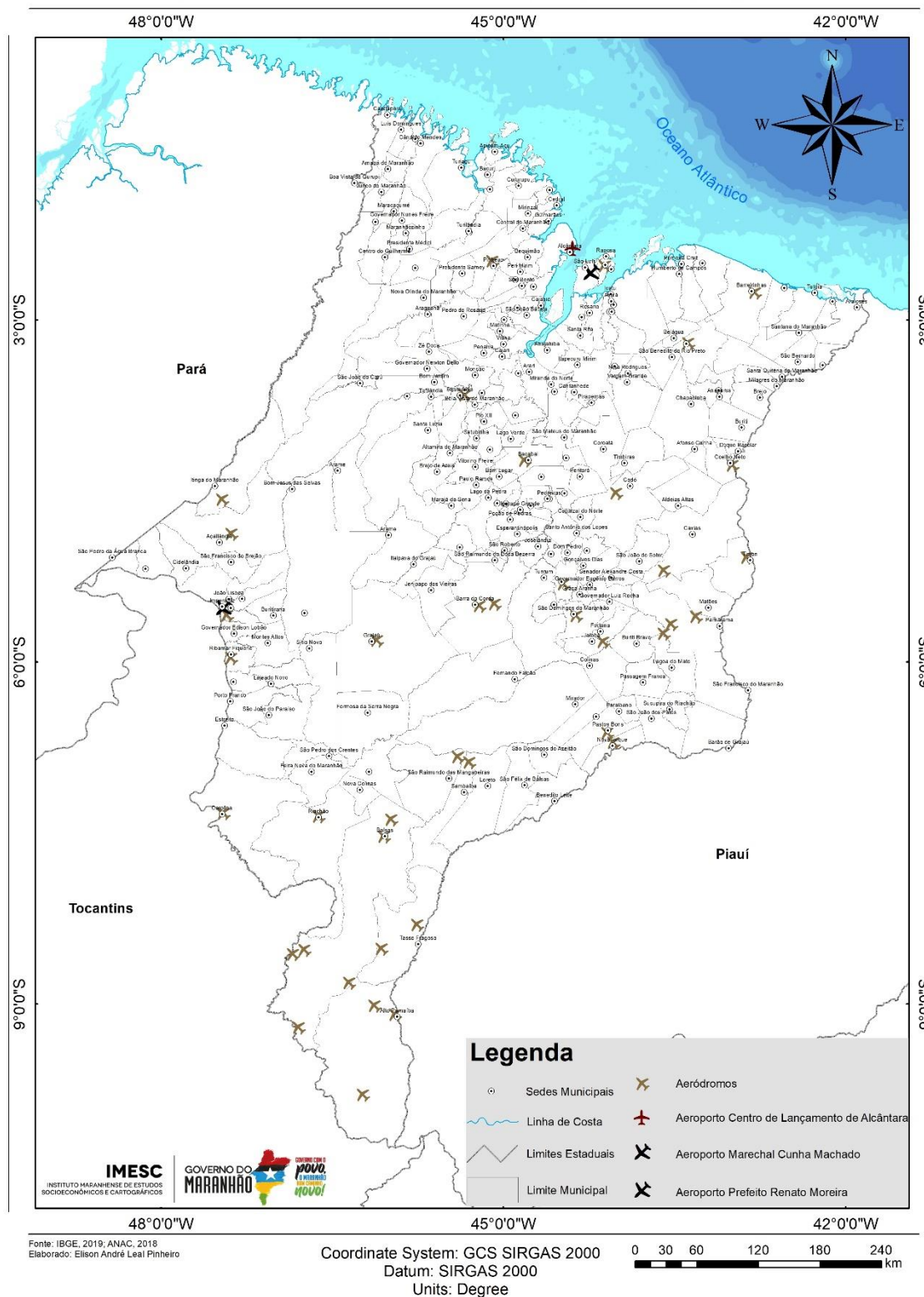
As restrições de caráter institucional, como é o caso das áreas Aeroportuárias (aeroportos e aeródromos) demandam de um tratamento específico, visto que o perímetro dessas áreas é de segurança e requerem um uso e tratamento diferenciado, estipulado no Próprio Plano Diretor local, a Resolução CONAMA nº04/1995 e Portaria nº 1.1141/GM5 de 1987, Ministério da Aeronáutica, estabelece uma restrição de qualquer atividade de natureza perigosa que possa atrair qualquer tipo pássaros e aves dentro de um raio 20 km para aeroportos e 13 para aeródromos (CONAMA, 1995). Tais medidas são necessárias para minimizar quaisquer riscos na operação dos mesmos (ANAC, 1987).

No estado do Maranhão existem 11 aeroportos, 41 aeródromos ativos (Mapa 1) e 22 helipontos, em sua maioria, com administração privada (Quadro 2 – Anexos).



Mapa 1 - Localização dos Aeroportos e Aeródromos no estado do Maranhão

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS AEROPORTOS E AERÓDROMOS NO ESTADO DO MARANHÃO



Fonte: IBGE (2019); ANAC (2016)

➤ Distâncias de Rodovias de acessos pavimentados

Deve-se considerar que as possíveis áreas selecionadas para implantação de aterros sanitários estejam fora da Área de Influência Direta - AID⁵, tais distâncias são essenciais para evitar impactos ambientais decorrentes à segurança de trajeto e tráfego, além de assegurar a proliferação de vetores e de odores nas zonas próximas às rodovias. Dessa forma, foi considerado neste estudo a distância mínima de 400 metros a partir do ponto central da rodovia (Figura 1).

Figura 1 - Margens da Rodovia BR 222 no município de Bom Jesus das Selvas



Fonte: IMESC (2021)

Além da distância mínima das rodovias, um outro fator que deve ser considerado neste estudo é o acesso interno e externo, pois para implantação e operação é necessário que as rodovias estejam em boas condições, mesmo em tempo de chuva, pois o alto custo de transporte, normalmente, é uma das condições que podem inviabilizar o processo de implantação e operação do aterro sanitário.

⁵ É a área geográfica afetada pelos impactos decorrentes do empreendimento que deverá sofrer impactos, tanto positivos quanto negativos. Os impactos e efeitos são induzidos pela existência do empreendimento e não como consequência de uma atividade específica do mesmo.

➤ Distâncias de Cursos D'água

É importante que a seleção da área para implantação de aterros sanitários esteja longe de cursos d'água (ABNT, 1987; BRASIL, 2012). Mediante os critérios técnicos e regimentos ambientais adotados pelas normas, as áreas estimadas neste estudo levaram em consideração uma distância de 300 metros a partir de cursos d'água⁶ (Figura 2). Visto a composição diversificada do lixo urbano a decomposição de matéria orgânica, ocorre a retenção de chorume que podem infiltrar no solo e ocorrer a contaminação do mesmo e dos cursos d'água.

Figura 2 - Lago São Jerônimo no município de Santa Helena e Trecho do Rio Pindaré no Município de Pindaré-Mirim



Fonte: IMESC (2021)

Para evitar a contaminação do solo e dos rios é necessário que seja adotado uma distância mínima bem como a impermeabilização do solo, em relação a este último é necessário ainda analisar os tipos e condições pedológicas de cada região, levando em consideração as características de textura, profundidade, permeabilidade do solo, além de canais de dreno para captar o líquido retido no lixo (chorume) e direcionar para área de tratamento adequado. Além do fator de permeabilidade, profundidade e textura do solo, um outro critério deve ser considerado para escolha do local para implantação, que a área escolhida não deva estar sujeita a enchentes e inundações, em período recorrência a de 100 anos (ABNT, 1987; BRASIL, 2012).

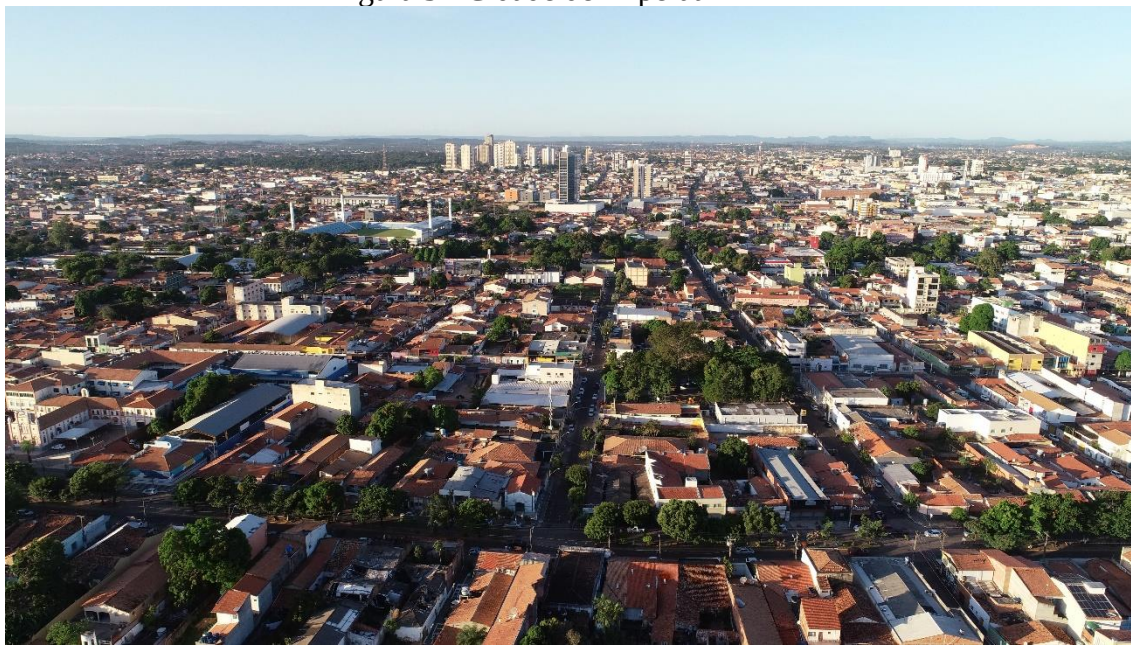
➤ Distâncias de Áreas Urbanas

É importante considerar a distância mínima a núcleos populacionais (Figura 3), desse modo a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m (ABNT, 1997; CONAMA, 1995). Áreas muito distantes

⁶ Neste estudo foi levado em consideração a área de proteção de 300 metros independente da largura dos rios água não discriminando de rios permanentes, intermitentes, lagos, barragens e massa d'água.

dos centros urbanos torna-se um peso excessivo tanto no fator econômico quanto logístico devido à distância percorrida da área de coleta até o local escolhido para disposição final do lixo.

Figura 3 - Cidade de Imperatriz - MA



Fonte: IMESC (2021)

➤ Distâncias de Áreas Protegidas

O estado do Maranhão apresenta em seu território 25 unidades de conservação subdivididas entre proteção integral (Figura 4), sustentável, reserva extrativista e reserva biológica. As unidades de conservação correspondem a 24,06% de todo território estadual, representando pouco mais de 79.302 km². Já as terras indígenas correspondem a 6,69% em relação ao território maranhense (Figura 5), área esta que compreende a pouco mais de 22.069 km². Juntas essas áreas correspondem a pouco mais de 30% do território maranhense.

Figura 4 - Parque Nacional Lençóis Maranhense



Fonte: IMESC (2021)

A título de caráter protetivo, estas áreas são instituídas pela Lei Federal 9.985, as unidades de conservação, como são definidas, são espaço territorial com características naturais relevantes para a conservação e proteção natural, as áreas protegidas são consideradas como ferramentas essenciais para a gestão e conservação da biodiversidade. A mesma lei federal define estas áreas sendo:

[...] um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (SNUC, 2000).

Por se tratar de uma área destinada à conservação e proteção dos recursos naturais é importante evitar atividades que desencadeia quaisquer entraves ambientais que venha a causar prejuízos ou danos ao caráter protetivo no qual as áreas protegidas foram propostas⁷ (BRASIL, 2012).

Figura 5 - Vista aérea da Terra Indígena Araribóia



Fonte: IMESC (2021)

Dessa maneira, este estudo adotou as áreas protegidas como fator de restrição para a construção de aterros sanitários, exceto as APAs da baixada maranhense, reentrâncias e Apa do Upaon-Açu, por se tratar de unidade de conservação com grande extensão territorial que abrange vários municípios do estado, elas foram integradas no modelo como áreas propícias,

⁷ Mediante o caráter protetivo das Unidades de Conservação e Terras Indígenas, adotou-se um Buffer de 10 km nas imediações das áreas protegidas, essa área equivale a zona de amortecimento, princípio legal amparado pelo Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC) Lei Federal nº 9.985/2000, estendido para as Terras Indígenas situadas no estado do Maranhão.

porém, com restrição, necessitando de um estudo específico no processo de escolha da área para implantação visto a devida disponibilidade de áreas propícias (BRASIL, 2012).

4.2.2. Fatores e critérios de análise fatorial

➤ Uso e Cobertura da Terra

A inserção do mapa de uso e cobertura da terra para a seleção de áreas propícias para construção de aterros sanitários é de grande relevância para a análise de possíveis áreas para a instalação. Conhecer os usos aplicado às diferentes localidades é uma das principais esquematização no processo de identificação de áreas, pois a partir desta é possível conhecer de forma ampla a estrutura da área e os usos aplicados na mesma, selecionado assim as áreas que tenham o menor fator impacto e grau restritivo. A análise do uso e da cobertura da terra é importante devido aos aspectos favoráveis na redução de processos erosivos e transporte de odores (ABNT, 1997; BRASIL, 2012).

O estado do Maranhão, em sua totalidade, abrange diversos tipos de uso, para estimar as áreas que tenham os menores entraves foram atribuídos pesos de 0 a 5, onde 0 são áreas consideradas inaptas e 5 para áreas com altíssima recomendação (Tabela 1).

Tabela 1 - Pesos para as classes de uso e cobertura da terra no estado do Maranhão

Uso e Cobertura da Terra	Nota Qualitativa	Nota Quantitativa
Formação Florestal	Média	2
Formação Savânica	Altíssima	5
Mangue	Inapta	0
Silvicultura	Alta	4
Formação Campestre	Média	3
Pastagem	Altíssima	5
Praia e Duna	Inapta	0
Infraestrutura Urbana	Inapta	0
Mineração	Inapta	0
Apicum	Inapta	0
Rio, Lago e Oceano	Inapta	0
Mosaico de Agricultura	Média	3

Fonte: IMESC (2021)

As áreas mapeadas como formação Savânica, campestre, pastagem e silvicultura (florestas plantadas) foram atribuídos os maiores pesos, visto que estas classes representam menores entraves relacionadas ao licenciamento ambiental (Figura 6).



Figura 6 - Área de Silvicultura margens da Estrada de Ferro Carajás no município de São Pedro da Água Branca



Fonte: IMESC (2021)

Em relação as classes mapeadas como mosaico de agricultura foram atribuídas notas menores, uma vez que, para a utilização dessas áreas seja necessário realizar supressão vegetal ocasionando custos adicionais para compensação ambientais, além de impasses no processo de licenciamento ambiental (Figura 7).

Figura 7 - Uso e cobertura da terra no Município Senador La Roque



Fonte: IMESC (2021)

Entre as áreas mapeadas identificadas como inaptas para construção de aterros sanitários, estas se subdividem entre mangue, praias e dunas, áreas urbanas, mineração, apicum, rios e lagos, sendo, portanto, áreas inaptas para a construção de aterros sanitários (Figura 8).

Figura 8 - Praia do Outeiro município de Cedral MA



Fonte: IMESC (2021)

➤ Aspectos Geológicos

A legislação NBR 10.157 e a 13.896, descreve dentre tantas outras condições exigíveis para implantação e operação de aterros sanitário o fator geologia e solo, estas condições são importantes na determinação da capacidade de infiltração do solo. Os resultados de cada componente litológico e a nota final são apresentados na Tabela 2. A discretização das notas segue alinhadas às litologias de maiores resistência ao processo de intemperismo, erosão e vulnerabilidade adotados neste trabalho.

Tabela 2 - Nota para a variável geologia

Formação Geológica	Litotipo	Nota Qualitativa	Nota Quantitativa
Depósitos colúvio-eluviais	Areia, Argila, Cascalho	Inapta	0
Depósitos Aluvionares	Areia, Cascalho	Inapta	0
Depósitos de pântanos e mangues	Argila, silte	Inapta	0
Depósitos Litorâneos	Areia	Inapta	0
Depósitos flúvio-lagunares	Silte, Argila	Inapta	0
Depósitos Aluvionares	Arenito	Inapta	0
Depósitos de terraços	Cascalho, areias	Inapta	0
Depósitos detríticos indiferenciados	Areia, argila, siltito	Inapta	0
Aurizona	Metavulcânica, metatufo, anfibolito, quartzito, xisto	Inapta	0
Depósitos Aluvionares	Cascalho, areia, argila	Inapta	0
Depósitos eólicos continentais antigos	Areia (sedimento eólico)	Baixa	1
Serra Grande	Arenito, Conglomerado suportado por Matriz, Folhelho, Siltito Arenoso	Baixa	2
Longá, Grupo Canindé	Arenito, Folhelho, Siltito	Baixa	2
Pirocaua	Metapiroclástica	Baixa	2
Jaritequara, Itapeva xisto	Mica-granada-quartzo xistos	Baixa	2
Marajupema	Muscovita quartzito, paragnaisse	Baixa	2
Ramos	Quartzito, quartzito manganífero, quartzito ferruginoso, xisto	Baixa	2
Matará	Metabasito, tremolita-xisto	Baixa	2
Anfibolito Cocal	Anfibolito, epidoto anfibolito, xisto	Baixa	2
Codó	Arenito, Calcário, Folhelho, Siltito	Média	3
Vulcânica Serra do Jacaré	Dacito, andesito	Média	3
Vulcânica Rosilha, Rio Diamante	Dacito, riolito, tufo	Média	3
Coberturas Lateríticas Imaturas	Sedimento detrito-laterítico, Sedimento eluvionar, Sedimento coluvionar	Média	3
Ipixuna	Arenito, Argilito caulínico	Média	3
Chega Tudo_vulcânica	Dacito, andesito, mica-xisto, grafita xisto	Média	3
Itapeva	Gnaisses tonalíticos e quartzo dioríticos, metatonalito	Média	3
Gurupi	Xisto	Média	3
Igarapé de Areia	Metarenito, metaconglomerado	Média	3
Piriá	Arenito arcoseano, Conglomerado, Grauvaca	Média	3
Piauí, Grupo Balsas	Arenito, Argilito, Folhelho, Siltito	Alta	4
Corda	Arenito, Argilito, Folhelho, Siltito Argiloso	Alta	4
Tromaí	Tonalito, quartzo diorito, granodiorito, monzogranito	Alta	4
Urucuia	Arenito, Pelito, Arenito Conglomerático	Alta	4
Rosário	Tonalito, granodiorito	Alta	4
Pastos Bons	Argilito, Folhelho, Siltito Argiloso	Alta	4
Sedimentos Pós-Barreiras	Areia, Argila	Alta	4
Granito	Sienogranito, monzogranito	Alta	4
Itapecuru	Conglomerado, Arenito, Arenito Arcoseano, Argilito, Folhelho, Siltito	Altíssima	5
Sardinha, Mosquito	Basalto	Altíssima	5
Grajaú, Sambaíba, Grupo Balsas	Arenito	Altíssima	5
Barreiras	Biocalcirudito, Margas, Calcilutitos e Biohermitos	Altíssima	5
Coberturas Lateríticas Maturas	Areia, Argila, Laterita, Cascalho	Altíssima	5
Motuca, Grupo Balsas	Arenito, Argilito, Siltito	Altíssima	5

Fonte: IMESC (2021)



Os aspectos geológicos previsto na legislação, estabelece que a área escolhida seja composta por áreas com materiais homogêneos com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s não podendo ser composta por solos saturados com espessura superior a 3,0 m. Diante dos aspectos geológicos é importante que seja considerado o estudo da vulnerabilidade à erosão, esta análise, destaca-se como um elemento importante para as condicionantes no qual a área será submetida e a própria característica do relevo (COSTA et al., 2017). De modo geral, os relevos mais suavizados são recomendados para a construção de aterros sanitários, consequentemente, estes relevos apresentam litologias mais susceptíveis a erosão, pois são constituídos por materiais menos resistentes. É importante destacar que os relevos com características litológicas mais resistentes, normalmente, são localizados nas maiores altitudes e ou em área de afloramento rochoso, porém, isto depende dos processos de intemperismo atuante, bem como a quantidade de precipitação da região (COSTA et al., 2017). A exemplo disso, o extremo oeste no Estado apresenta relevo e litologia mais resistentes, devido as falhas, fraturas e afloramento rochoso e as precipitações ocorridas nesta região, normalmente, é acima de 2.000 mm/ano, como ocorre nos municípios de Centro do Guilherme, Centro Novo do Maranhão, Boa Vista do Gurupi, Turiaçu, Godofredo Viana, Luís Domingues, Rosário, dentre outros. Já na porção Centro-Sul do estado, área que compreende as altitudes mais elevadas, o relevo e a litologia são constituídos por materiais menos resistentes e mais susceptíveis a erosão, composto principalmente por cobertura detrito-laterítica, latossolo, arenito quartzosos, dentre outros.

Profundidade Efetiva do Solo

Para as variáveis pedológicas foram adotados atributos de profundidade efetiva do solo e textura do solo, para tais atributos foram adotados os maiores pesos para solos profundos⁸ e com predominância de material argiloso, as notas foram normalizadas com valores de 0 a 5 (Tabela 3).

Tabela 3 - Nota para a variável de massa d'água, areias e profundidade efetiva do solo

Profundidade do Solo	Nota Qualitativa	Nota Quantitativa
Massa D'agua	Inapta	0
Plintossolo	Altíssima	5
Argissolo vermelho amarelo	Alta	4
Cambissolo	Média	3
Latossolo Amarelo	Altíssima	5
Neossolo Litólicos	Inapta	0
Gleissolo	Inapta	0

⁸ Solos muito raso (< 25 cm); Solos Rasos (25 a 50 cm); Solos Moderadamente Profundo (50 a 100 cm); Solos Profundos (100 a 200 cm); Solos Muito Profundo (>200 cm).



Profundidade do Solo	Nota Qualitativa	Nota Quantitativa
Argissolo vermelho amarelo eutrófico	Alta	4
Argissolo acinzentado	Alta	4
Nitossolo	Baixa	1
Areias quartzosas	Inapta	0
Vertissolo	Baixa	1
Latossolo Vermelho	Altíssima	5
Planossolo	Baixa	1
Solos Aluviais	Inapta	0
Solos de mangue	Inapta	0

Fonte: IMESC (2021)

Para a implantação de aterros sanitários, considera-se o grau de infiltração, onde, quanto maior a infiltração mais restritiva será a área, a favorabilidade à percolação de água no solo pode desencadear a contaminação do lençol freático e de águas subterrâneas, no entanto, fez-se necessário considerar o conjunto de fatores que envolve tais condições no que se refere ao processo de infiltração, visto que, o Latossolo apesar de serem solos profundos com textura média argilosa e intemperizados, o grau de contaminação do subsolo e quase zero, devido a composição da argila que compõem este tipo de solo.

➤ Textura do Solo

Considerando à resistência a erosão, os maiores pesos foram atribuídos para as classes com textura argilosa, principalmente para solos com argila tipo 2:1, devido a propensão à resistência a infiltração de água no solo, fator importante para a construção de áreas de aterros sanitários (Tabela 4). A NRB 13.986 (ABNT, 1997), estabelece que o coeficiente de permeabilidade do solo nas áreas destinadas para a construção de aterros sanitários não ultrapasse à 5×10^{-5} cm/s⁹ (Tabela 12 – Anexos).

Tabela 4 - Notas atribuídas para variável textura do solo

Textura do Solo	Nota Qualitativa	Nota Quantitativa
Predominantemente argilo-siltoso	Altíssima	5
Variável de arenoso a argilo-siltoso	Altíssima	5
Predominantemente argiloso	Alta	4
Predominantemente arenoso	Média	3
Não se aplica	Inapta	0
Predominantemente argilo-siltico-arenoso	Alta	4

Fonte: IMESC (2021)

⁹ Um subsolo com coeficiente de permeabilidade superior a 5×10^{-5} cm/s pode vir a ser aceito pelo OCA, a seu critério, dependendo do tipo de resíduo a ser disposto e das demais condições hidrogeológicas do local do aterro, desde que este valor não exceda 10^{-4} cm/s.



Ainda no contexto pedológico, é necessário que a área escolhida para implantação de aterros sanitários tenha depósito natural de material inerte para recobrimento dos resíduos depositados, evitando a proliferação de animais indesejados e de odores.

➤ Declividade

Para as classes de declividade, nota-se uma relação direta com velocidade do escoamento superficial e infiltração de água no solo, o grau de inclinação do relevo afetará o modo como o fluxo de água irá se comportar, pois, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento superficial e menor o tempo de infiltração, podendo ocasionar o processo de erosão e aumento da vulnerabilidade a movimento de massa.

Os intervalos de declividade foram estabelecidos pela classificação estabelecida pela EMBRAPA (1979) cujo intervalos são: 0° a 3° (relevo plano); 3° a 8° (relevo suave ondulado); 8° a 20° (relevo ondulado); 20° a 45° (fortemente ondulado); e > 45° (relevo montanhoso¹⁰). Com base nas classes definidas, áreas com declividade acima de 20° são caracterizadas como áreas suscetíveis a processos de instabilidade com alta propensão de erosão e deslizamento e infiltração, declividade acima de 20° possuem um fator determinante que define a velocidade do escoamento superficial, tal fator é essencial para estimar o grau de susceptibilidade à erosão do solo (COSTA et al., 2017). Desse modo, áreas mapeadas com declividade plano, suave ondulado e Moderadamente ondulado tiveram os maiores pesos e classificadas como altíssima, alta e média recomendação (Tabela 5).

Tabela 5 - Notas para a variável declividade

Grau de Declividade (%)	Classes de Declividade	Nota Qualitativa	Nota
0 – 3	Plano	Altíssima	5
3 – 8	Suave Ondulado	Alta	4
8 – 20	Moderadamente Ondulado	Média	3
20 – 30	Ondulado	Baixa	1
>30	Forte Ondulado à Montanhoso Escarpado	Inapta	0

Fonte: IMESC (2021)

Com base na caracterização geomorfológica e unidades de relevo do estado do Maranhão, é possível identificar áreas com alta relevância para a instalação de aterros sanitários, tais como áreas com baixa declividade (Figura 9), com desnível natural para servir de base para a construção de células de lixo (planícies, planalto, chapadas, colinas com declividade variadas e vales).

¹⁰ Os ajustes dos intervalos de declividade de todo o estado dependem do relevo e da escala de trabalho utilizada.



Figura 9 - Grau de Declividade da unidade de relevo do Município de Lago da Pedra



Fonte: IMESC (2021)

É importante que as áreas escolhidas para instalação de aterros sanitários estejam estruturadas de modo a facilitar a construção e minimizar custo de implantação e operação, dessa forma é necessário que as áreas sejam caracterizadas em terrenos de depressões naturais, secas e acessíveis sob condições climáticas adversas (Figura 10).

Figura 10 - Grau de Declividade da unidade de relevo do Município de Santa Luzia

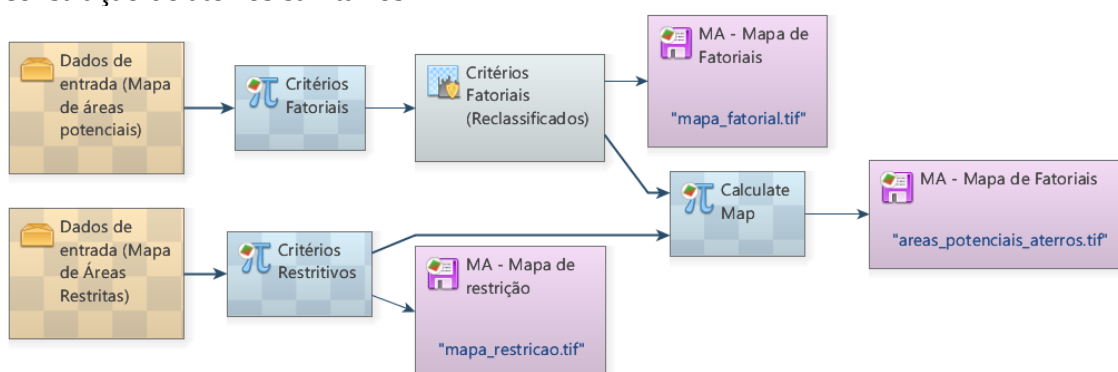


Fonte: IMESC (2021)

4.2.3. Modelo adotado para seleção de áreas para construção de aterros sanitários

A construção do modelo de identificação de áreas propícias para aterros sanitários ocorreu dentro da plataforma do Dinâmica-EGO (MENDOZA, 2017; SOARES-FILHO et al., 2010). A construção do modelo seguiu as etapas apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Esquema simplificado do modelo de identificação de áreas propícias para construção de aterros sanitários



Fonte: (Elaborado a partir de Aquino, 2018)

Para identificar as áreas propícias para implantação de aterros sanitários, primeiramente, foram adotados mapas de entrada (Mapa de restrição e Mapa Fatoriais), em seguida, com o funtor “*Calculate Map*” foi realizada a seguinte fórmula lógicas para os mapas de restrições e mapas fatoriais (Equação 6).

$$\text{Mapa de Restrição: if } i1 \text{ and } i2 \text{ and } i3 \text{ and } i4 \text{ and } i5 \text{ and } i6 = 0 \text{ then } 0, \text{ else } 1 \quad (6)$$

Onde:

- 0 = Áreas com restrição
- 1 = Áreas sem restrições
- i1 = Hidrografia
- i2 = Áreas Protegidas
- i3 = Aeroportos / Aeródromos
- i4 = Macha Urbana
- i5 = Rodovias

Como resultado desta equação, gerou-se o mapa de restrição, onde foi possível identificar as áreas com fatores de restrição. A equação seguinte é o escalonamento com grau de prioridade dos mapas fatoriais, estes mapas estabelecem o grau de importância de determinadas classes como prioridade para implantar aterro sanitário, a equação 7 se dá pela soma das variáveis, conforme mostra a seguir:



(7)

$$\text{Mapa Fatorial} = i1 + i2 + i3 + i4 + i5$$

Onde:

i1 = Uso e Cobertura da Terra

i2 = Geologia

i3 = Textura do Solos

i4 = Profundidade do Solo

i5 = Declividade

Como resultado, temos o mapa fatorial das variáveis categóricas, com o uso do funtor “*Histogram Equalized Map*” foi realizada uma reclassificação subdividindo em três níveis¹¹ que vai desde áreas inaptas até áreas com altíssima recomendação.

Posteriormente, realizou-se a subtração entre o mapa fatorial e restritivo por meio de álgebra de mapas (Equação 8), como resultado temos o mapa de áreas propícias para implantação de aterros sanitários no estado do Maranhão.

(8)

$$\text{Mapa de áreas propícias: if not isnull (i1) and i2 = 1 then i1 else null}$$

Onde:

i1 = Mapa Fatorial

i2 = Mapa de Restrição

¹¹ Nível 1 – Áreas Recomendadas
Nível 2 – Áreas Recomendadas com restrições
Nível 3 – Áreas Inaptas



5. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS NA MICRORREGIÃO DE SANEAMENTO

Diante da necessidade de sanar as problemáticas sanitária de destinação final de resíduos sólidos em 1986, foi promulgado o primeiro Decreto-Lei sobre o Plano Nacional de Saneamento Básico nº 949. Por sua vez, em 1988, a Constituição Federal destinou aos municípios e estados a responsabilidade dos serviços de abastecimento, esgotamento e destinação final do lixo.

A Lei nº 11.445/2017 estabelece políticas de saneamento, estas seguem aspectos como financiamento, planejamento e operação, visando a universalização e distribuição de saneamento para todo o estado. Ainda nesta perspectiva, o IMESC fundamentado no novo marco legal de saneamento, Lei 14.026/2020 formulou as Microrregiões de Saneamento do estado adotando a junção de municípios limítrofes com a finalidade de planejar e executar de forma adequada as questões de saneamento básico diante das exigências estabelecidas em lei. A regionalização do novo marco legal de saneamento básico subdivide o estado em quatro microrregiões: Norte (78 municípios), Noroeste (29 municípios), Centro-Leste (55 municípios) e Sul (55 municípios).

Em relação aos consórcios intermunicipais estes são regulamentados pela Lei 11.107/2005 (BRASIL, 2005), os quais tratam-se de parcerias entre municípios para a realização de ações conjuntas, incrementando a qualidade dos serviços públicos prestados à população. Lima (2016) conceitua os consórcios intermunicipais como um “instrumento de planejamento regional”, ou seja, formado a partir das características e demandas locais, estabelecendo uma cooperação baseada no princípio da igualdade jurídica.

Um dos maiores problemas ambientais nos dias atuais é a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, visto que muitas cidades não conseguem obter recursos suficientes para realizar disposição adequada. Desse modo, a forma mais eficaz encontrada para enfrentar essa questão econômica é o estabelecimento de parcerias entre os municípios, em prol de uma gestão conjunta de seus resíduos, adquirida por meio dos consórcios intermunicipais.

Como forma de auxiliar a estruturação de consórcios, foram criados critérios de delimitação e identificação de áreas para construções dos Aterros Sanitários (cálculo de população, produção e volume de resíduos, cálculo de área, critérios ambientais, sociais e econômicos). Os mapas foram elaborados de acordo com as seguintes classificações:



- **Áreas recomendadas** – Seguem todos os critérios e normas;
- **Áreas Recomendadas com Restrições** – Não atendem um dos critérios, porém podem ser reavaliadas;
- **Áreas inaptas** – Não atendem mais de dois critérios.

De acordo com o Mapa 2 que classifica as áreas, cerca de 37.468 km² são áreas recomendadas e 51.524 km² são recomendadas com restrições (Tabela 6). Dentre as restrições levantadas, observam-se áreas ocupadas com algum tipo de uso da terra¹² ou estão em propriedades privadas. Os 73% de áreas inaptas para construções dos aterros sanitários estão subdivididas entre unidades de conservação, terras indígenas, proximidades de aeroportos, sedes municipais, corpos hídricos, nascentes de rios, áreas com declividade superior a 20° de declividade e outros indicadores descritos nos procedimentos metodológicos.

Tabela 6 - Áreas mapeadas para aterros sanitários no estado do Maranhão

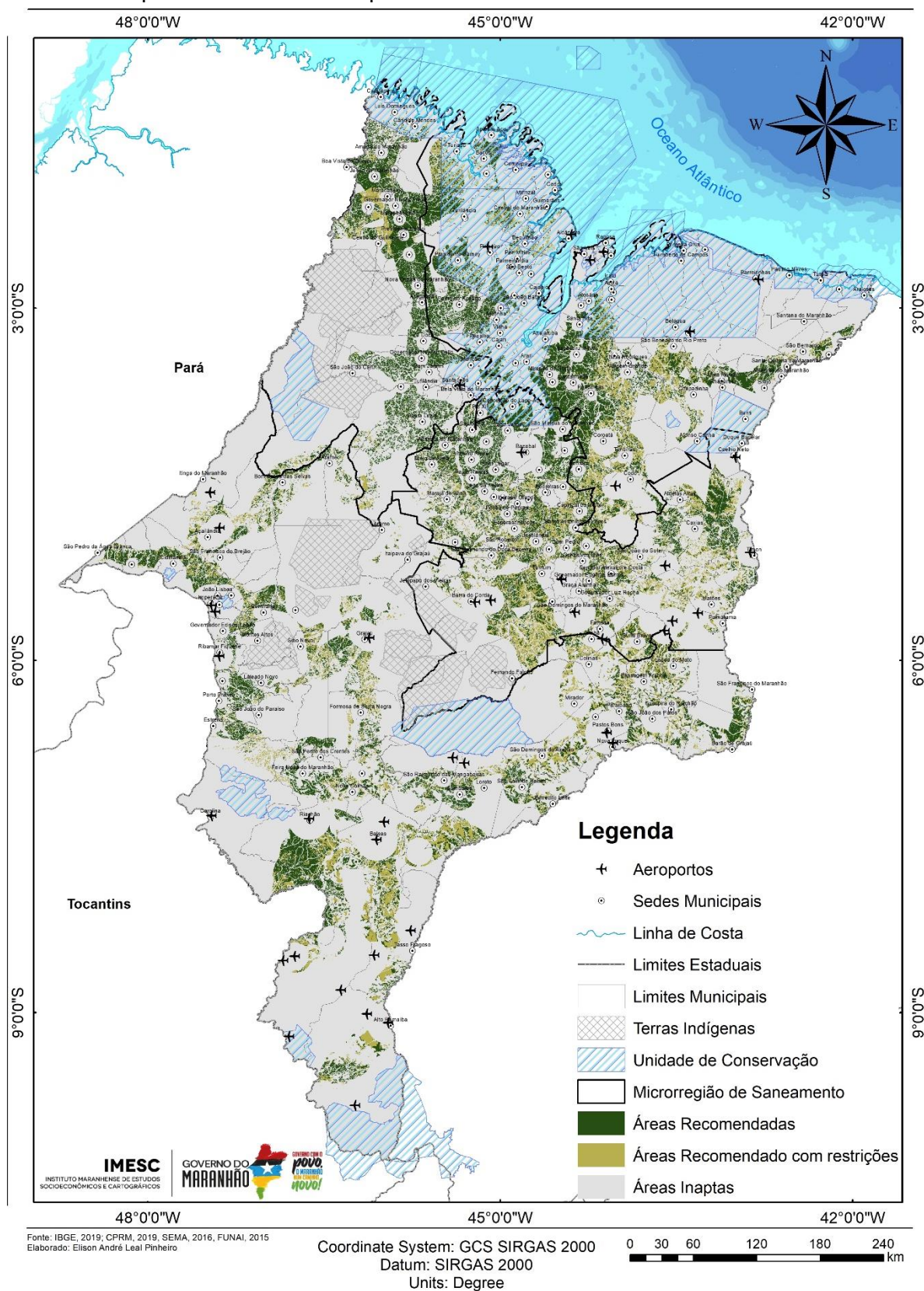
Áreas mapeadas	Área em km ²	Percentual de área (%)
Áreas recomendadas	37.468	11,4%
Áreas recomendadas com restrições	51.524	15,6%
Áreas inaptas	240.659	73%

Fonte: IMESC 2021

¹² Monoculturas, pastagens, silvicultura e ou são distantes dos centros geradores de resíduos



Mapa 2 - Áreas indicadas para aterros sanitários no estado do Maranhão



Fonte: IBGE (2019); CPRM (2019)

5.1. Microrregião de Saneamento Norte Maranhense

Composta por 78 municípios, a Microrregião de Saneamento Norte Maranhense abrange uma área de 77.749 km² e uma população de 3.487.980 habitantes em 2020, a densidade demográfica desta região é de 44,89 hab./km². A microrregião está inserida no complexo estuarino do Golfão Maranhense, Lençóis Maranhense, Delta das Américas no Litoral Oriental e Litoral Ocidental.

A projeção estimada da população da microrregião norte para o ano de 2040 alcança um total de 3.911,557 habitantes, estima-se que para este mesmo período, 32% da população desta região não tenham atendimento a coleta de lixo, cerca de 1.243.927 habitantes. De modo geral, a produção de lixo per capita desta microrregião é de 0,98 (kg/hab/dia) e o total de lixo produzido é a maior entre todas microrregiões, com 3.818.097 (kg/dia) de lixo produzido (Tabela 14 – Anexo).

Como critérios de orientação para identificação de áreas potenciais de aterros sanitários na Microrregião de Saneamento Norte Maranhense, é necessário que as áreas recomendadas sejam acima de 664 hectares¹³ (Tabela 14 – Anexo). Dessa forma, esta microrregião possui pouco mais de 10.345 km² de áreas recomendadas e 8.976 km² de áreas recomendada com restrições (Tabela 7). Os municípios que possuem a maior quantidade de área recomendada na região são respectivamente: Matões do Norte, Turilândia, Turiaçu, Pedro do Rosário, Viana, Coroatá, Presidente Sarney, Santa Helena, Brejo e São Vicente de Ferrer (Mapa 3).

Tabela 7 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Norte Maranhense

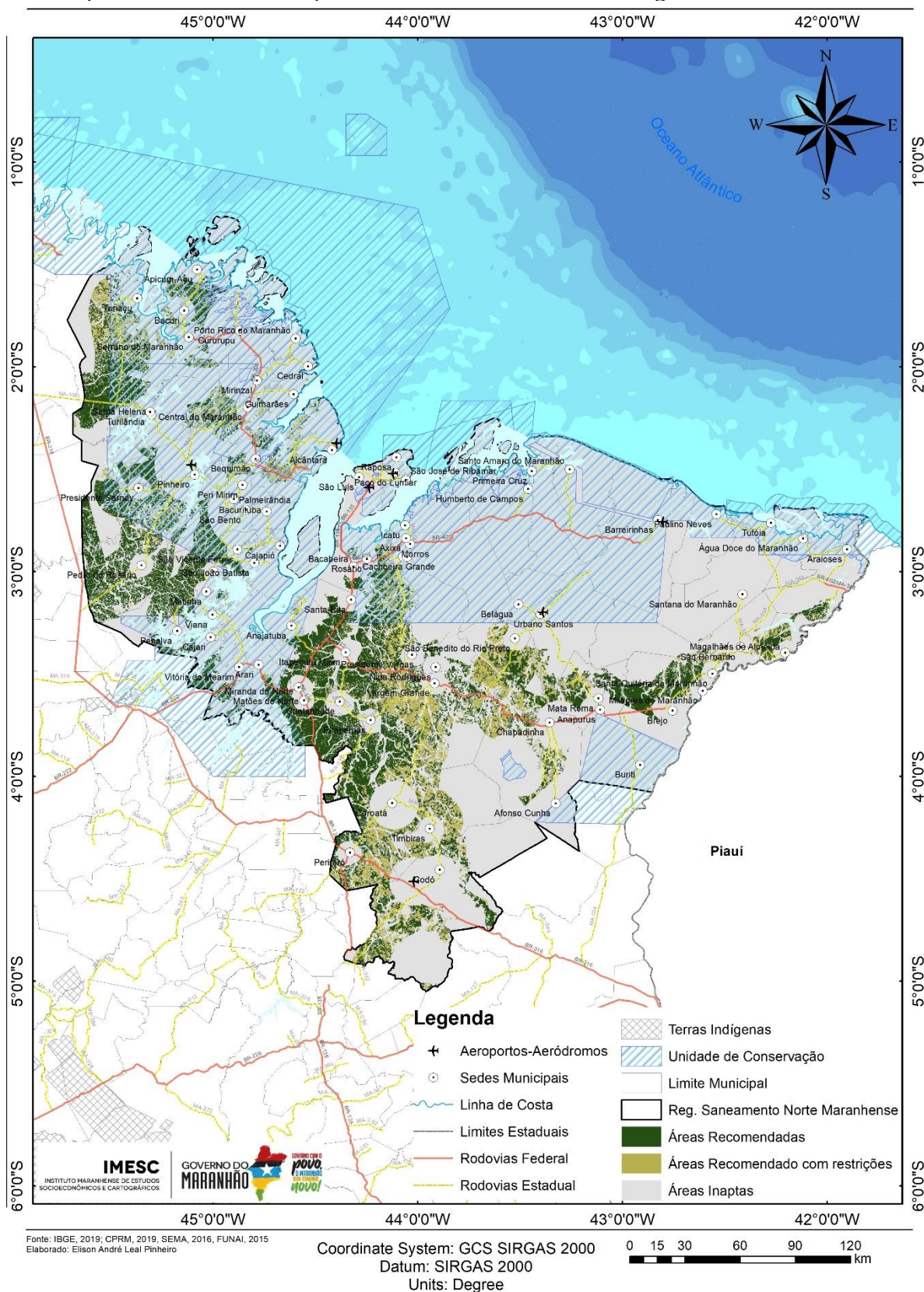
Áreas mapeadas	Área em km ²	Percentual de área (%)
Áreas recomendadas	10.345	13,3%
Áreas recomendadas com restrições	8.976	11,5%
Áreas inaptas	58.428	75,1%

Fonte: IMESC (2021)

¹³ A dimensões das células de lixo depende do volume de lixo e peso do lixo compactado, normalmente as células são construídas em altura que varia de 3 a 6 metros de altura, estas medidas devem seguir para cada situação estudada. Neste estudo foram adotados valores de volume de lixo 500m³ e 700m³ com altura da célula de 3 e 6 metros de altura.



Mapa 3 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião norte maranhense



Fonte: IBGE (2019); CPRM (2019)



No mapa 3 pode ser observado que os municípios que compreende a região dos Lençóis Maranhense: Araioses, Água Doce do Maranhão, Santa do Maranhão, Tutóia, Paulino Neves, Barreirinhas, Santo Amaro do Maranhão, Humberto de Campos e Primeira Cruz não apresentaram viabilidade técnica e econômica devido a logística de distância e também em relação a alguns atributos combinados como solos, geologia, geomorfologia e áreas protegidas, critérios estes que não atendem ao que a legislação recomenda. Estes municípios estão localizados em uma distância superior a 20 km² em relação as áreas propícias para implantação de aterros sanitários mais próxima, o que inviabiliza o custo de transporte. Desse modo, faz-se necessário que seja realizado um estudo específico para esta região, podendo, a depender do caso, a flexibilização de alguns critérios como também a adoção de critérios otimizado para o sistema de destinação final de resíduos sólido eficiente para estes municípios, uma vez que possuem atrativos turísticos intensos, o que aumenta ainda mais a produção de lixo nas altas temporadas.

5.2. Microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense

A microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense é composta por 29 municípios e a população de 2020 é de 684.774 habitantes, a área total da região é de 43.390 de km². Geograficamente, a microrregião está inserida dentro do Bioma Amazônia na bacia do Rio Pindaré e Gurupi, apresentando influência marinha, fluvial e lacustre.

A projeção estimada da população da microrregião noroeste maranhense para o ano de 2040 alcança um total de 729.849 habitantes, estima-se que para este mesmo período, 41% da população desta região não tenham atendimento a coleta de lixo, cerca de 298.852 habitantes. A microrregião noroeste maranhense apresenta uma produção per capita de lixo de 1,14 (kg/hab/dia) a maior taxa de produção de lixo entre todas as microrregiões do estado, em relação ao total de lixo produzido, esta microrregião apresenta um total de 823.435 kg/dia, valores estes estimados para o ano de 2040 (Tabela 14 – Anexo).

Como critérios de orientação para identificação de áreas potenciais de aterros sanitários na Microrregião de Saneamento Noroeste Maranhense, é necessário que as áreas recomendadas sejam superiores a 145 hectares. Dessa forma, a região possui 6.309 km² de áreas recomendadas e 6.641 km² de áreas recomendadas com restrições (Tabela 8). Os municípios que possuem a maior quantidade de área recomendada na região são respectivamente: Junco do Maranhão, Centro Novo do Maranhão, Nova Olinda do Maranhão, Amapá do Maranhão, Santa Luzia do Paruá, Governador Nunes Freire, Zé Doca, Presidente Medici, Boa Vista do Gurupi e Maranhãozinho (Mapa 4).



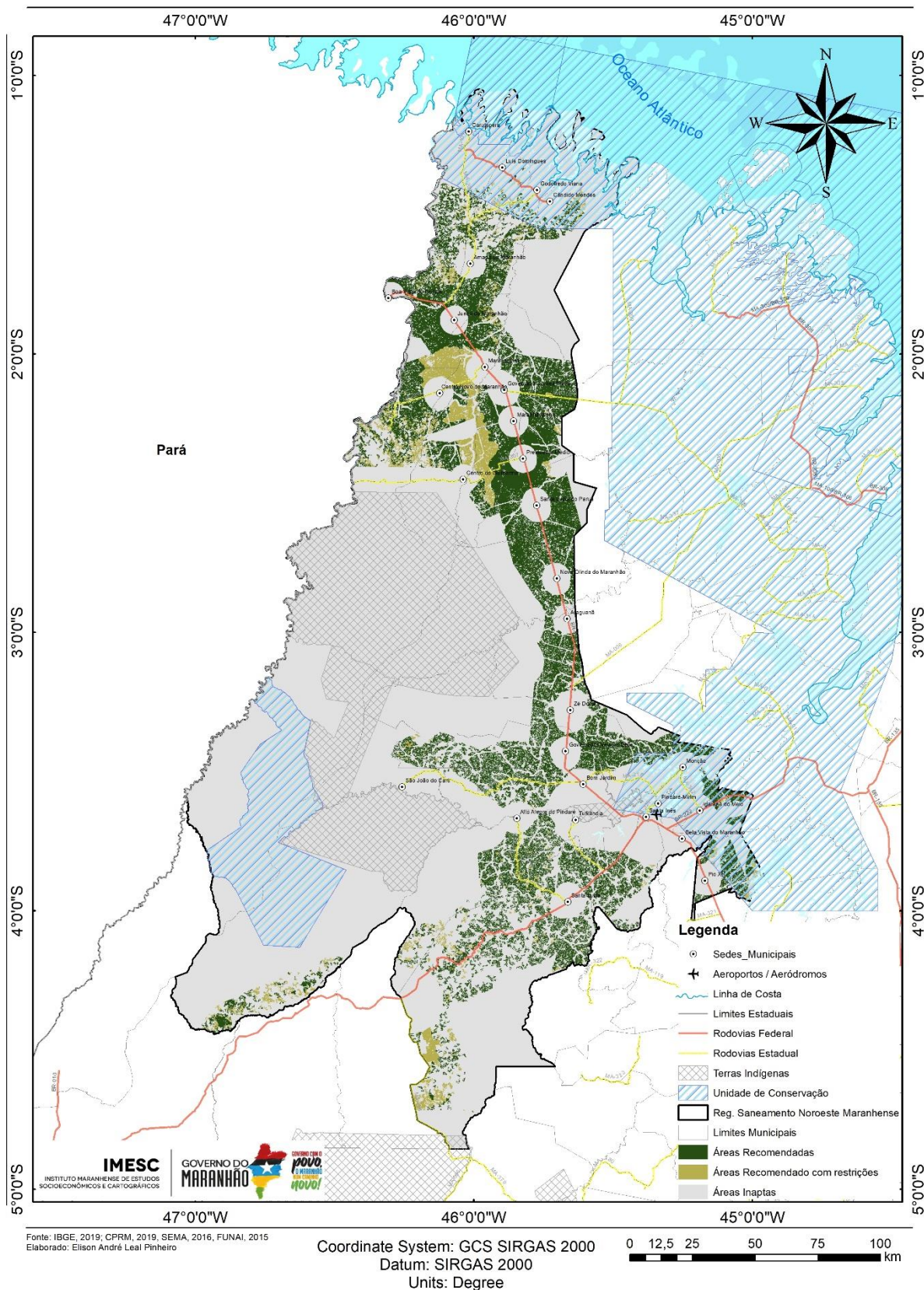
Tabela 8 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Noroeste Maranhense

Áreas mapeadas	Área em km²	Percentual de área (%)
Áreas recomendadas	6.309	14,5%
Áreas recomendadas com restrições	6.641	15,3%
Áreas inaptas	30.440	70,2%

Fonte: IMESC (2021)



Mapa 4 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião Noroeste maranhense



Fonte: IBGE (2019); CPRM (2019)



5.3. Microrregião de Saneamento Centro-Leste Maranhense

Localizada na planície fluvial das bacias dos rios Mearim, Grajaú, Parnaíba e Itapecuru, a microrregião de saneamento Centro-Leste maranhense é composta por 55 municípios com população estimada em 2020 de 1.488.279 habitantes, a área correspondente desta região é de 61.452 km².

A projeção estimada da população da microrregião centro-leste maranhense para o ano de 2040 alcança um total de 1.375.866 habitantes. Estima-se que para este mesmo período, 36% da população nesta região não tenha atendimento a coleta de lixo, cerca de 494.743 habitantes. A microrregião Centro-Leste maranhense apresenta uma produção per capita de lixo de 1,08 (kg/hab/dia) a segunda maior taxa de produção de lixo, no que se refere ao total de lixo produzido, esta microrregião apresenta um total de 1.482.163 kg/dia, valores estes estimados para o ano de 2024.

Como critérios de orientação para identificação de áreas potenciais de aterros sanitários na Microrregião de Saneamento Centro-Leste Maranhense, é necessário que as áreas recomendadas sejam acima de 258 hectares. Dessa forma, a região possui 9.282 km² de áreas recomendadas e 9.810 km² de áreas recomendadas com restrições (Tabela 9). Os municípios que possuem a maior quantidade de área recomendada na região são respectivamente: Aldeias Altas, Lago Verde, São Mateus do Maranhão, São Luís Gonzaga do Maranhão, Bacabal, Joselândia, Brejo de Areia, Vitorino Freire, Olho D'água das Cunhãs, Caxias (Mapa 5).

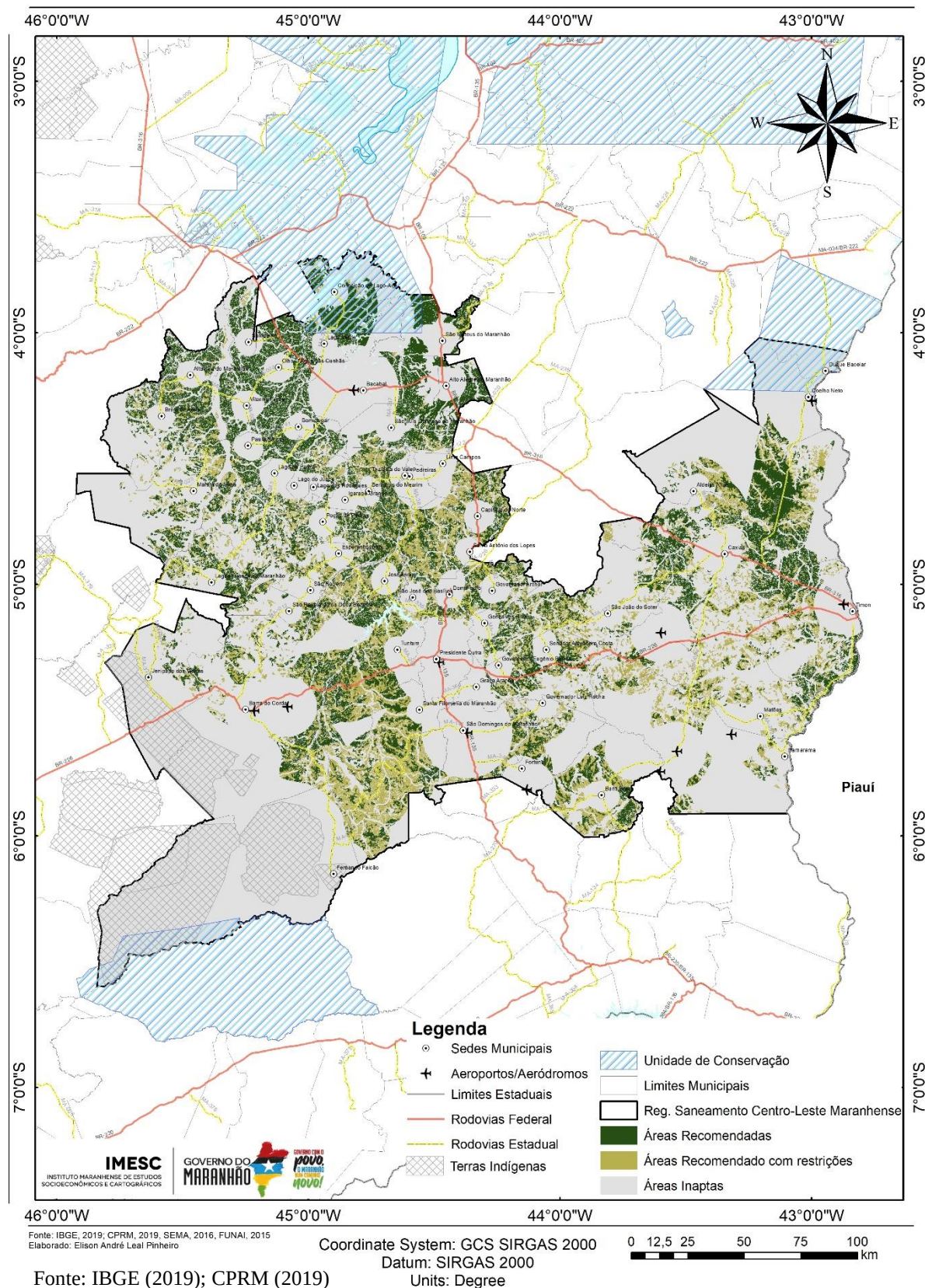
Tabela 9 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Centro-Leste Maranhense

Áreas mapeadas	Área em km²	Percentual de área (%)
Áreas recomendadas	9.282	15,1%
Áreas recomendadas com restrições	9.810	16%
Áreas inaptas	42.360	68,9%

Fonte: IMESC (2021)



Mapa 5 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião Centro-Leste maranhense



5.4. Microrregião de Saneamento Sul Maranhense

Composta por extensos vales e chapadas, a microrregião de saneamento Sul Maranhense apresenta em seu território as principais nascentes dos rios genuinamente maranhenses (Pindaré, Gurupi, Mearim) e Parnaíba, além de parte do Tocantins, ambos de domínio federal. A microrregião de saneamento sul maranhense ocupa uma área de 147.060 km², composta por 55 municípios com população (2020) de 1.426.808 habitantes.

A microrregião Sul possui uma população estimada de para o ano de 2040 de 1.595.953 habitantes, estima-se que para este mesmo período, 36% da população nesta região não tenham atendimento a coleta de lixo, cerca de 573.678 habitantes. A microrregião sul maranhense apresenta uma produção per capita de lixo de 1,07 (kg/hab/dia), no que se refere ao total de lixo produzido, esta microrregião apresenta um total de 1.700.863 kg/dia, valores estes estimados para o ano de 2024.

Como critérios de orientação para identificação de áreas potenciais de aterros sanitários na Microrregião de Saneamento Sul Maranhense, é necessário que as áreas recomendadas sejam acima de 296 hectares. Dessa forma, a região possui 11.532 km² de áreas recomendadas e 26.097 km² de áreas recomendada com restrições (Tabela 10). Os municípios que possuem a maior quantidade de área recomendada na região são respectivamente: Riachão, Buritirana, Sitio Novo, São Francisco, Barão de Grajaú, Campestre do Maranhão, Cidelândia, Carolina, Grajaú, Porto Franco e Feira Nova do Maranhão (Mapa 6).

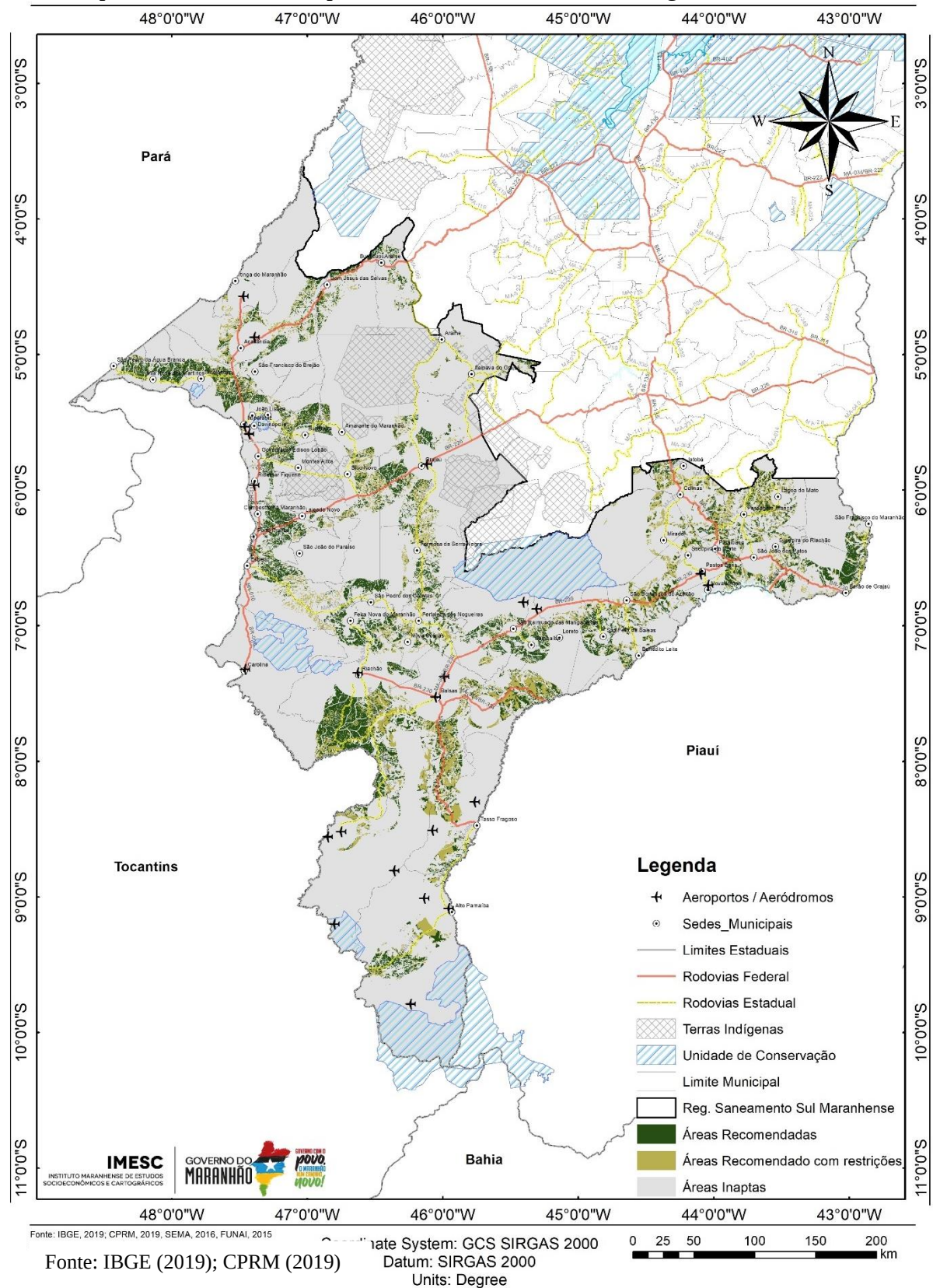
Tabela 10 - Áreas mapeadas com critérios de recomendação para aterros sanitários na Microrregião Sul Maranhense

Áreas mapeadas	Área em km ²	Percentual de área (%)
Áreas recomendadas	11.532	7,8%
Áreas recomendadas com restrições	26.097	17,7%
Áreas inaptas	109.431	74,4%

Fonte: IMESC (2021)



Mapa 6 - Áreas indicadas para aterros sanitários na microrregião Sul maranhense



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados apresentados, a análise geoespacial da cartografia, aliada às ferramentas de SIG – Sistema de Informação Geográficas, torna-se ferramenta importante na tomada de decisão, planejamento e ordenamento territorial. Por meio deste relatório, é possível combinar critérios geoespaciais de natureza ambiental, econômica e social para avaliar possíveis locais do estado para implantações de aterros sanitários mediante os dados geoambientais.

A análise conjunta entre diversos critérios adotados pela legislação, sobre destinação final de resíduos sólidos, resultou em uma abrangência capaz de atender grande parte dos municípios maranhenses nessa questão bastante desafiadora, que é a destinação de forma correta dos resíduos sólidos em áreas urbanas.

O IMESC disponibiliza esse trabalho com o fulcro de direcionar a identificação das áreas propícias para implantação dos aterros sanitários, as quatro microrregiões de saneamento básico, mediante o que impõe o Marco Legal de Saneamento Lei 14.026/2020, os municípios com maiores áreas que podem auxiliar na formação dos Consórcios Municipais, proteção das áreas sensíveis e construção dos Aterros.



REFERÊNCIAS

- AQUINO, J. N. de. **Uso de técnicas de modelagem e análise espacial na seleção de áreas ideais para construção de aterros sanitários em regiões metropolitanas densamente povoadas**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10157 - Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1987. p. 13.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11174 - Armazenamento Resíduos Classe II. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1990. p. 1–7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13463 - Coleta de resíduos sólidos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1995. p. 5–7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13896 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 12, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004 - Resíduos sólidos – Classificação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1–605, 2009.
- ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUI, Y.; NEVES, B. B. DE B. The Upper Precambrian of South America. **Boletim IG**, v. 7, n. 0, p. 45, 1976.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. **DOU Nº 187, S/1, 09/12/1987**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/portarias/portarias-1987/portaria-no-1141-gm5-de-08-12-1987>. Acesso em: 20 set. 2021.
- BARBOSA, D.; NETO, M.; NEVES, B. **Geologia Básica**. p. 7–26, 1987.
- BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.**, 1998.
- BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2010a.
- BRASIL. **Diretrizes para elaboração de projetos**, 2010b.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012.**, 2012.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução conama nº 4, de 9 de outubro de 1995 Publicada no DOU n.**
- COSTA, A. M. et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Geografias**, v. 14, n. 1, p. 118–133, 2017.



INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. **Cartilha de Limpeza Urbana**, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. **Gestão integrada de resíduos sólidos Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Publicação**. v. 1. Rio de Janeiro: [s.n.].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão**. p. 44, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. [s.l: s.n.]. v. 3.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão –ZEE**. 1. ed. São Luis - MA: [s.n.].

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA)**. 1. ed. São Luis - MA: [s.n.].

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA)**. 2. ed. São Luis - MA: [s.n.].

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Lixo municipal - manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo: CEMPRES, 2018.

MANTESSO-NETO, V. et al. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. [s.l: s.n.].

MARANHÃO. **Plano Estadual de Gestão dos Resíduos Sólidos do Maranhão – PEGRS MA**. São Luis - MA: [s.n.]. v. II

MENDOZA, V. E. **Dinamica Ego: Una Herramienta Gratuita Para Modelar Y Brindar**. n. December 2016, 2017.

OBLADEN, N.; OBLADEN, N.; BARROS, K. Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos. **Série de Publicações Temáticas do CREA-PR**, v. II, 2009. p. 64.

SANTOS, I. DE L.; SOUZA, U. D. V.; FEITOSA, A. C. Vulnerabilidade sociambiental em decorrência de enchentes do rio Itapecuru no município de Cantanhede, Maranhão. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, n. c, 2017. p. 4303–4308.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL GERAL - CPRM. **Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores**. Brasília: [s.n.]. v. 581

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL GERAL - CPRM. **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina - PI: [s.n.].



SCHOBENHAUS, C.; NEVES, B. B. DE B. **A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana Introdução ao conceito de Plataforma**, 2003. p. 5–25.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Dinamica EGO guidebook**, 2010.

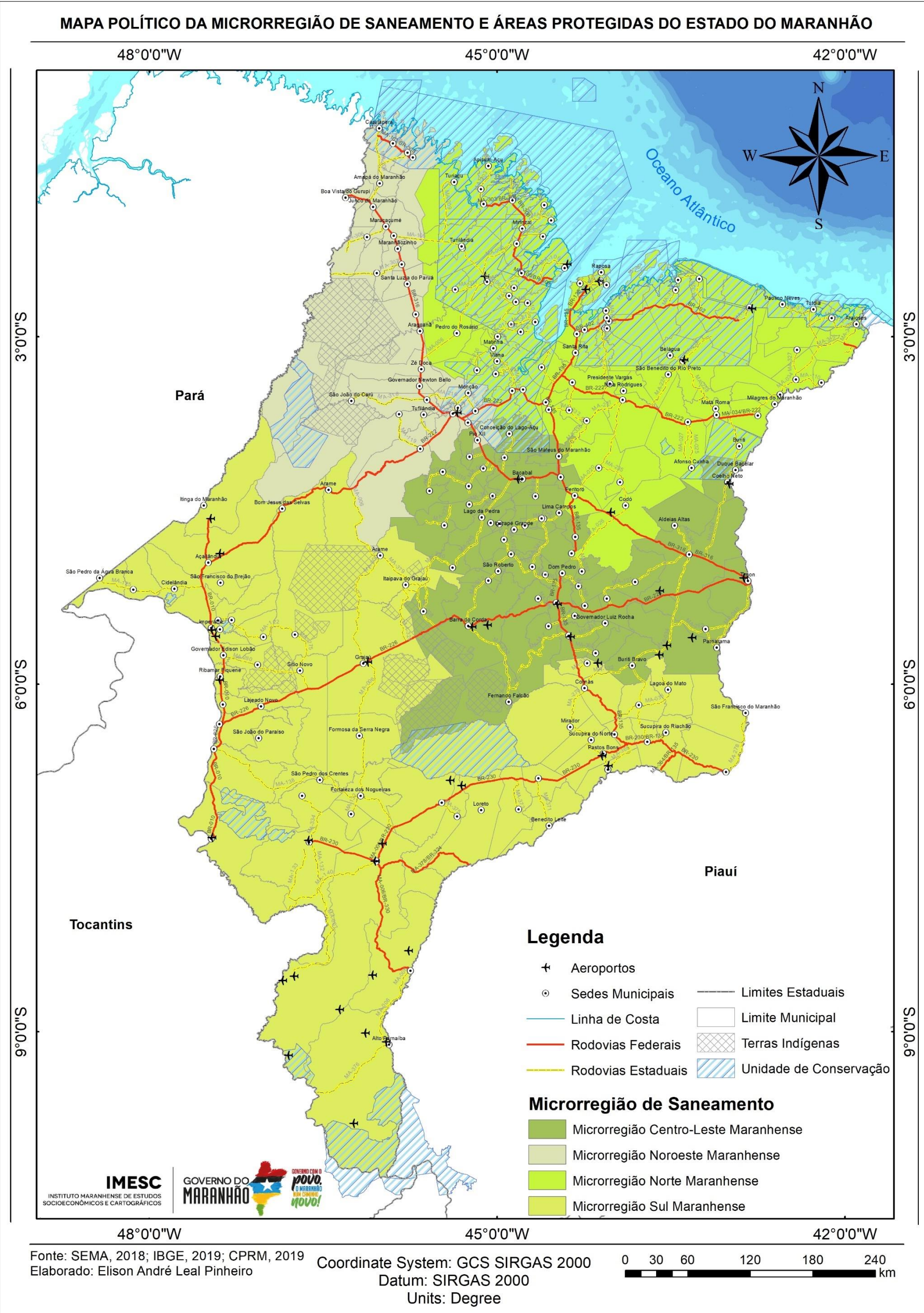
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA/NUGEO. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. p. 1–165, 2016.



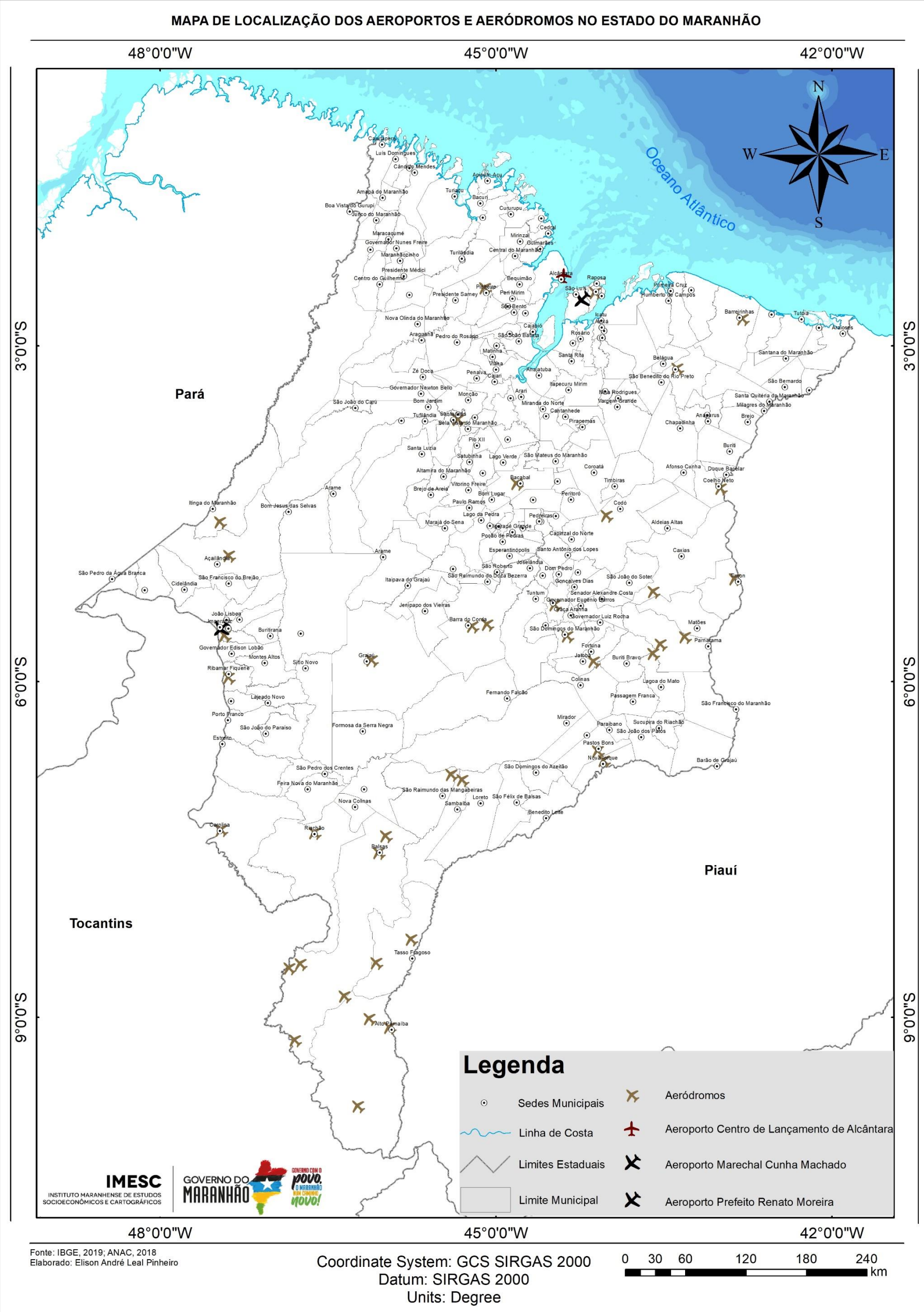


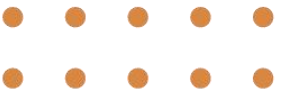
CADERNO DE MAPAS

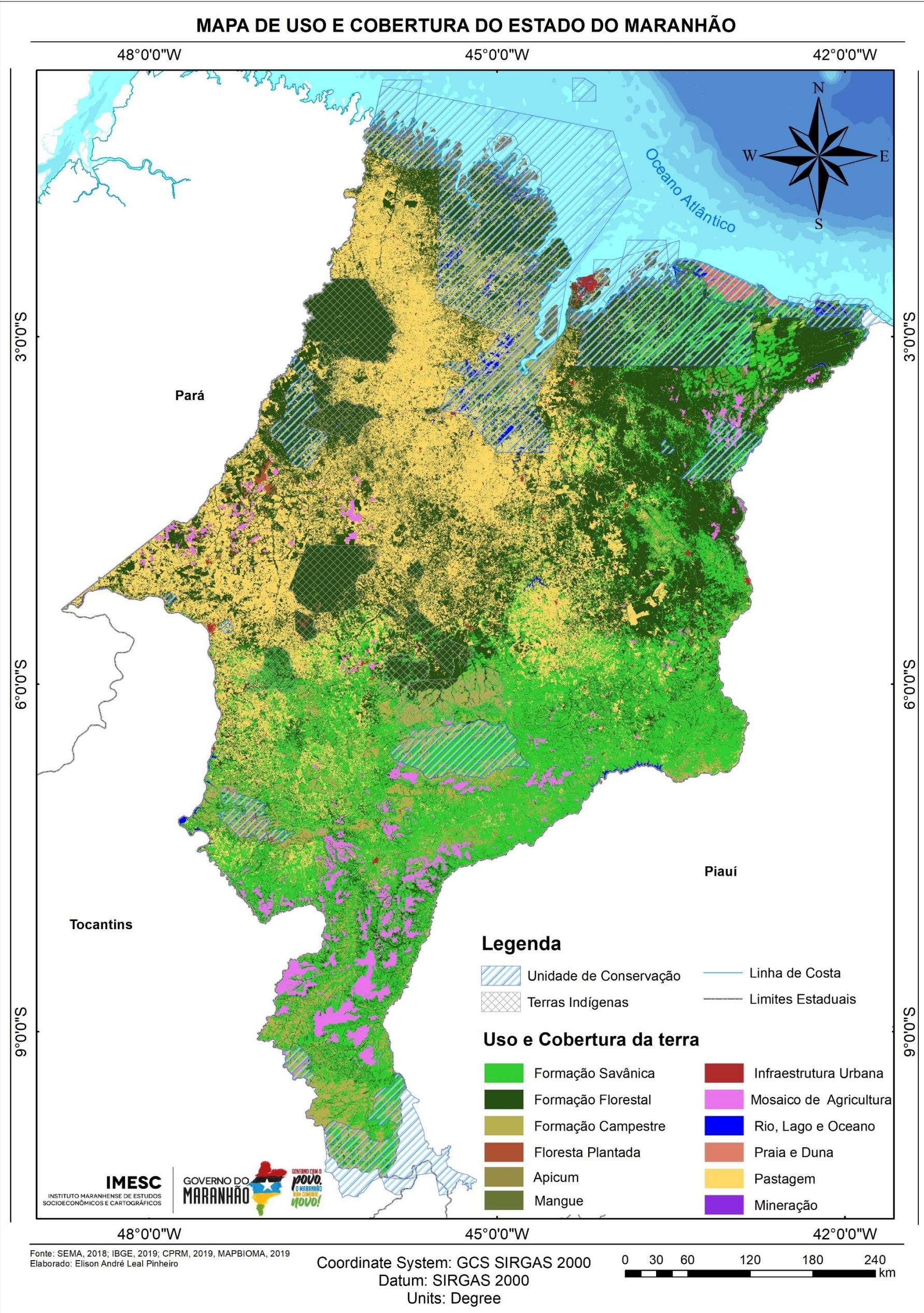


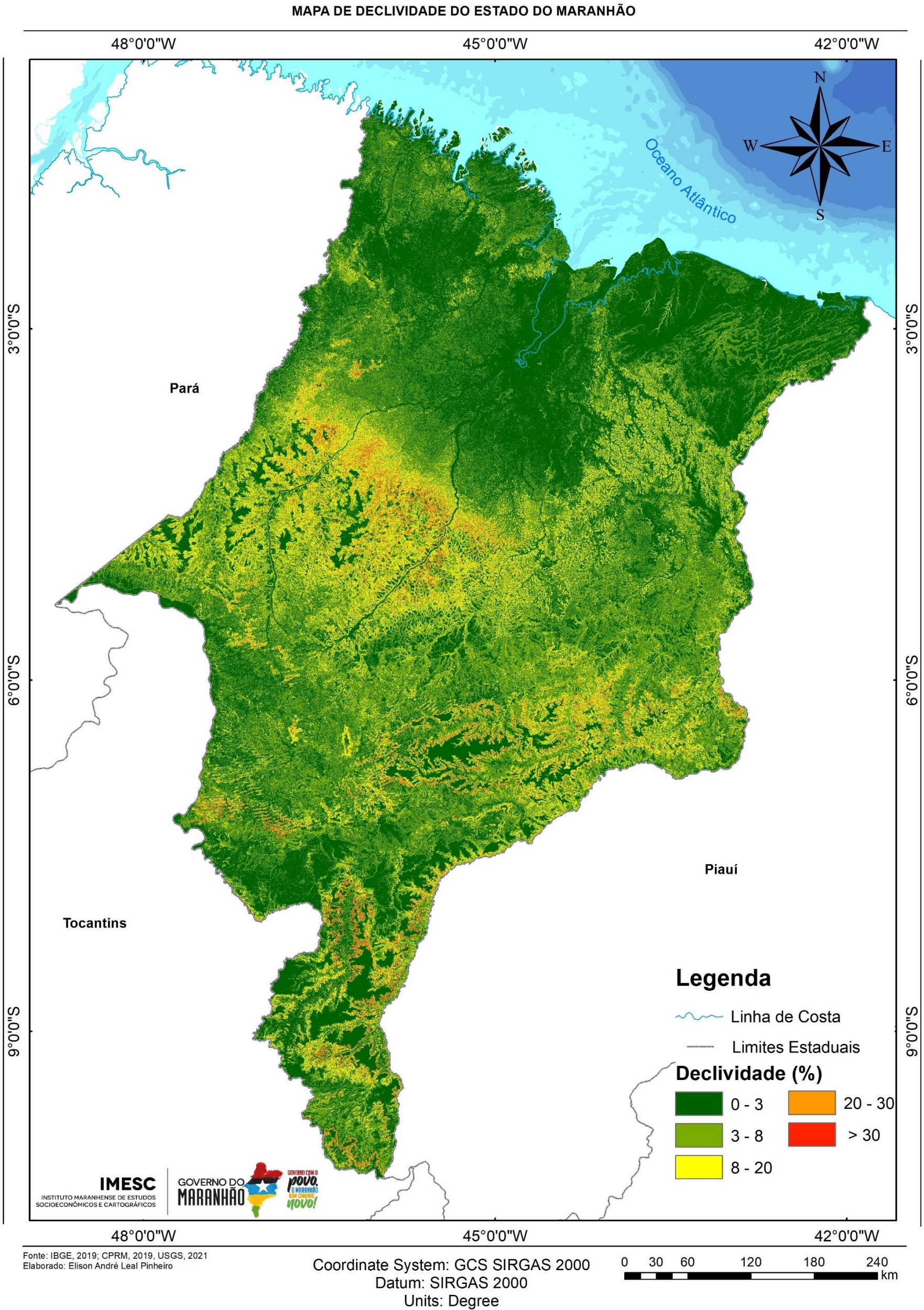


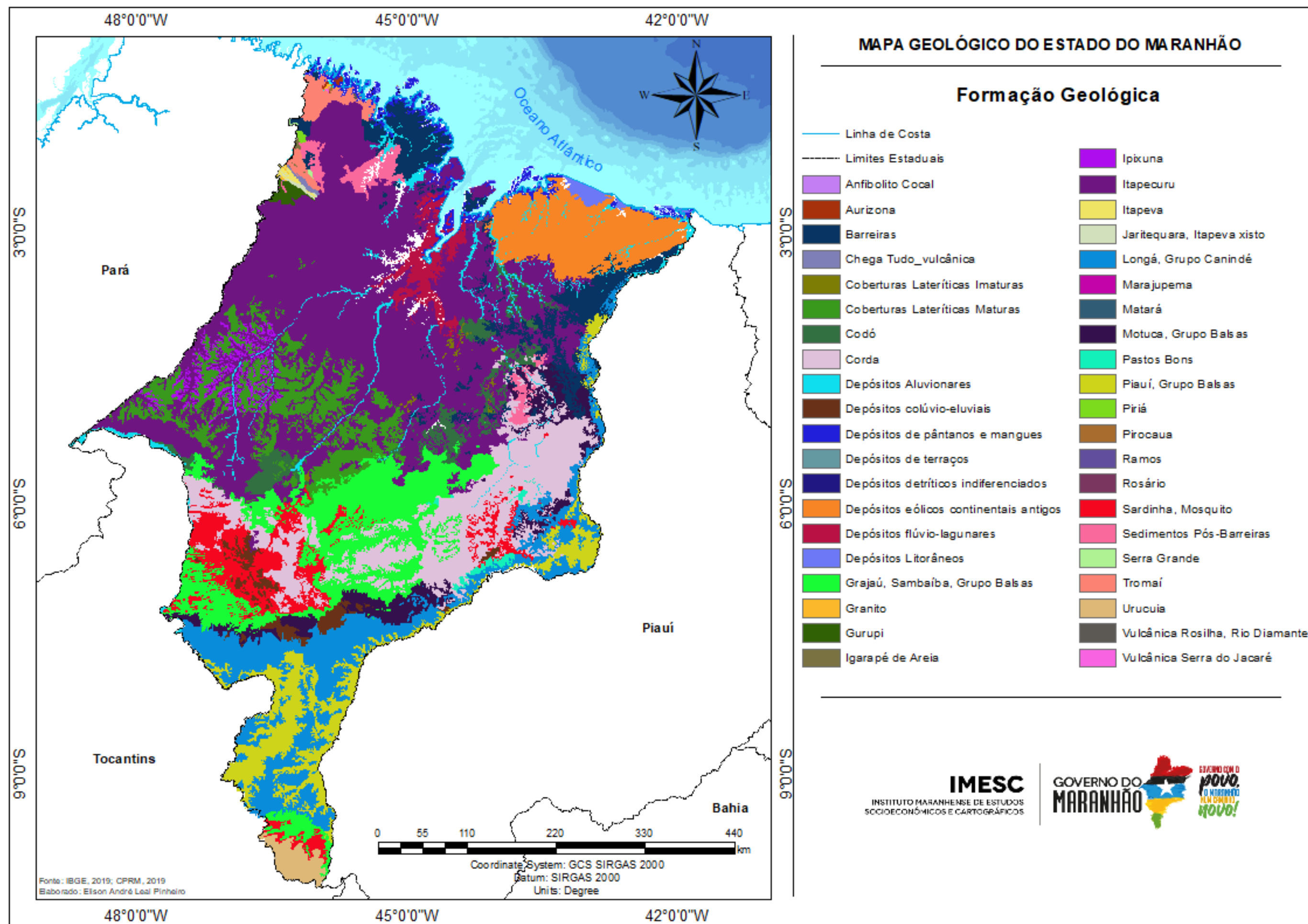


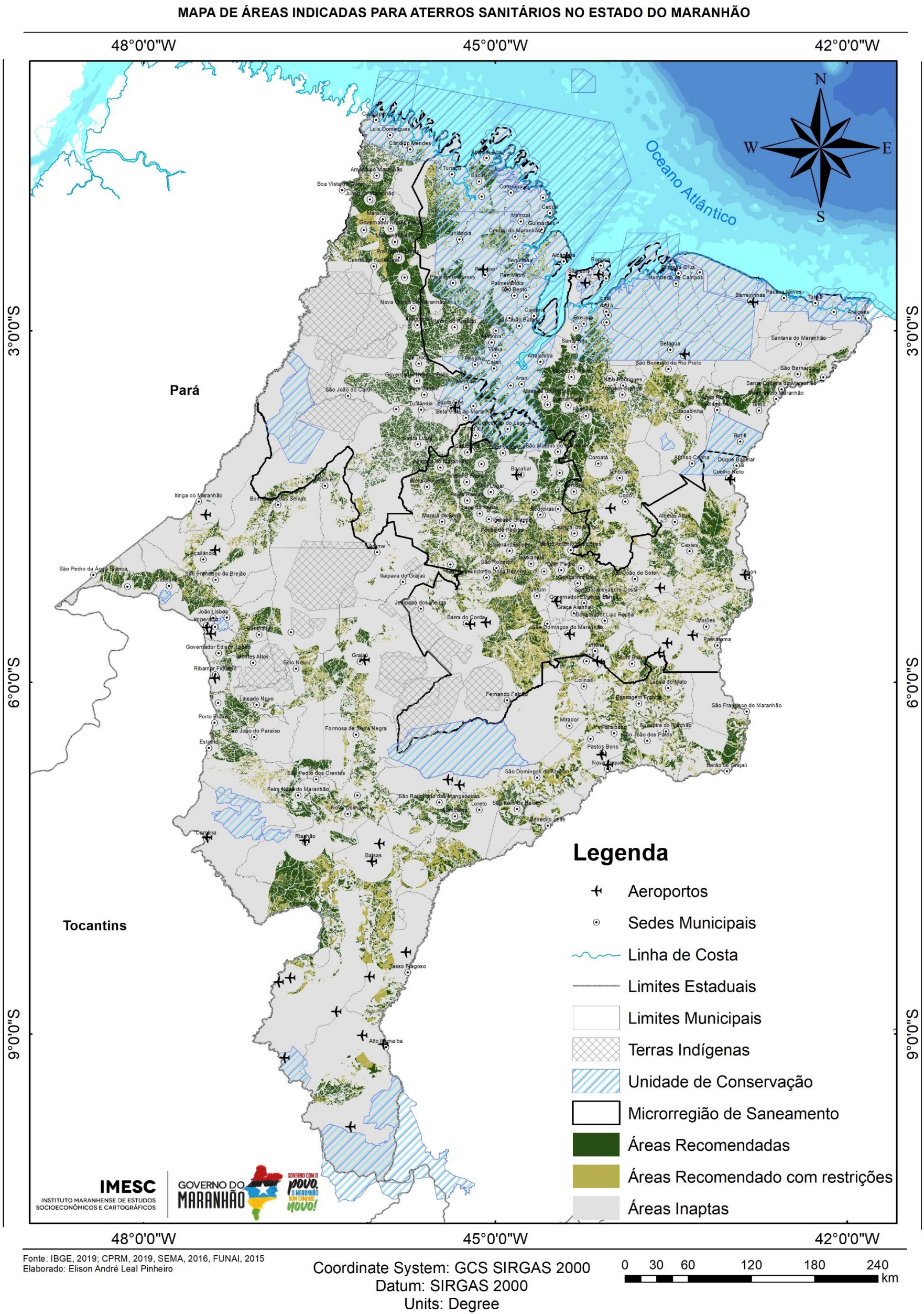


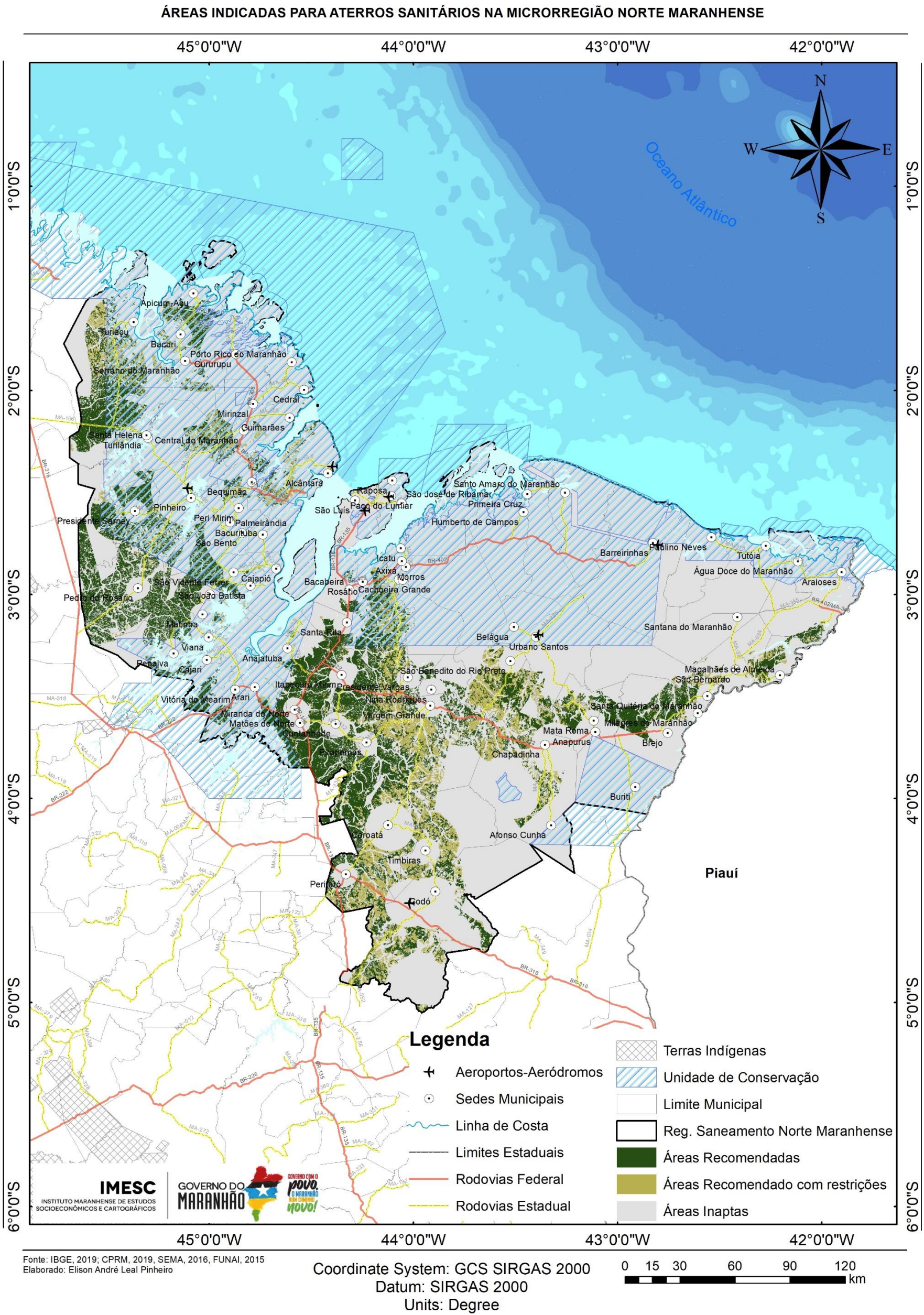








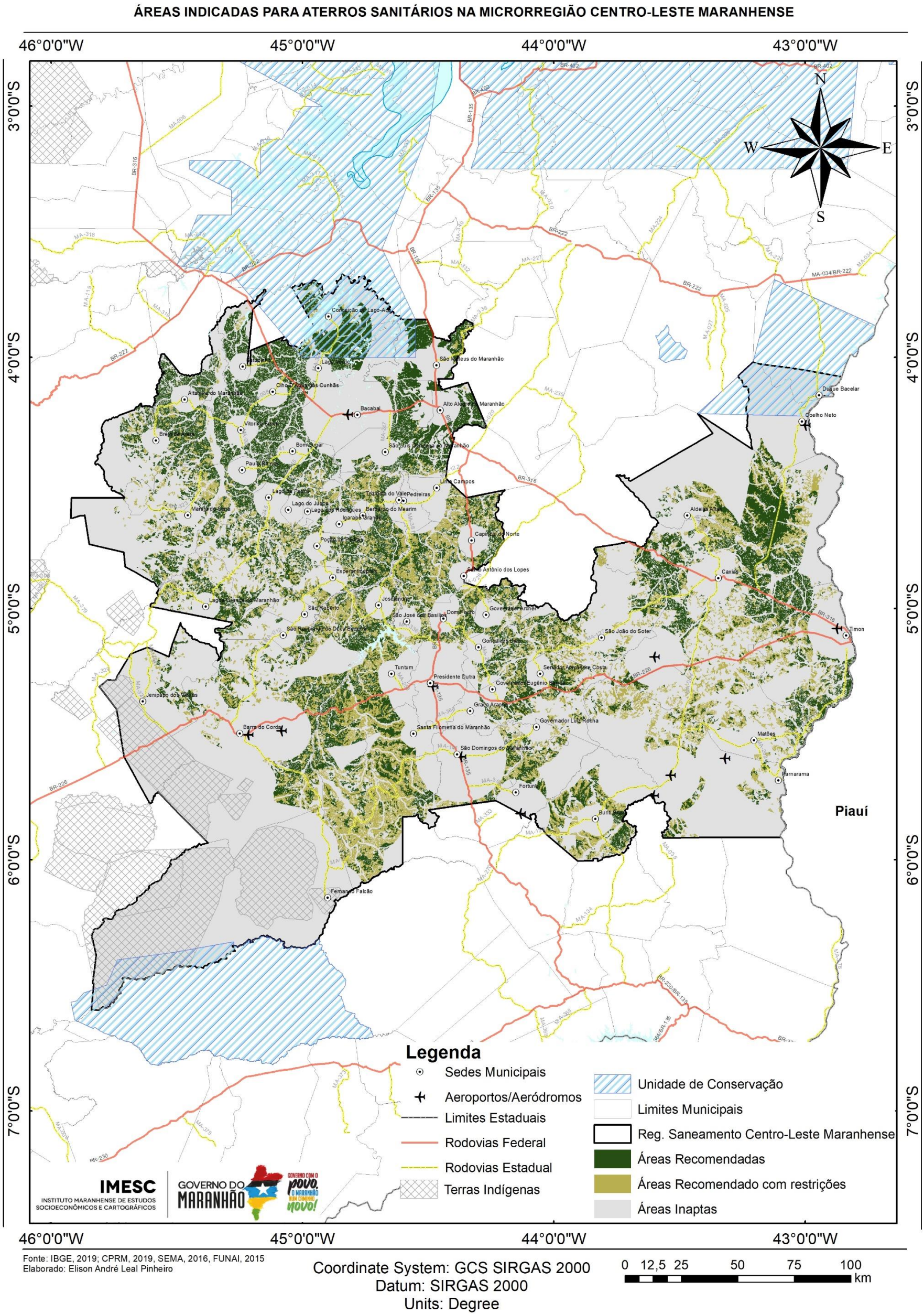


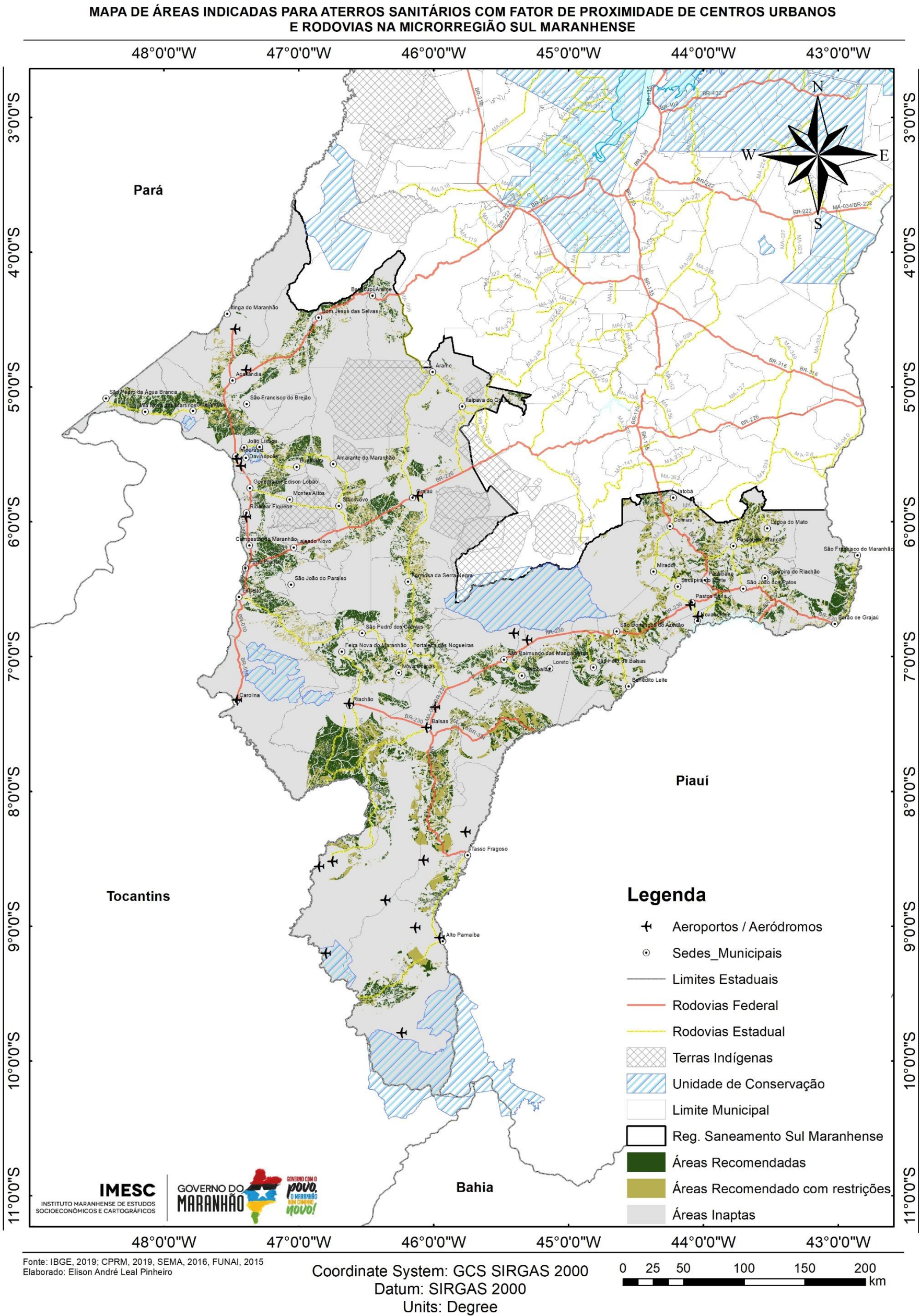


45°0'0"W



A horizontal scale bar with tick marks at 0, 12,5, 25, 50, 75, and 100 km. The bar is black with white tick marks and labels.







ANEXOS



Tabela 11 - Localização dos Ecoponto de São Luís - MA

Localização dos Ecopontos na Capital do Estado do Maranhão – São Luís

- Ecoponto Parque Amazonas, Avenida dos Africanos, s/nº, Bairro de Fátima, entrada do Parque Amazonas;
- Ecoponto do Angelim Rua 27, s/nº (antes do Makro, próximo ao Restaurante Chico Noca);
- Ecoponto do Bequimão, Avenida 1, s/nº, Bequimão;
- Ecoponto Habitacional Turu Travessa G, s/nº, Habitacional Turu;
- Ecoponto Jardim América, Avenida 03, s/nº, Jardim América (ao lado da União de Moradores)
- Ecoponto Jardim Renascença, Rua Netuno, próximo à Paróquia de São Paulo Apóstolo
- Ecoponto Residencial Esperança, Rua Doutor Ribeiro, s/nº, Residencial Esperança
- Ecoponto Cidade Operária - Unidade 101, Avenida Este 203, Cidade Operária, próximo ao Campo do Real
- Ecoponto São Francisco, Avenida Ferreira Gullar, ao lado da Estação Elevatória da Caema
- Ecoponto Anil, Rua 02, Conjunto Rancho Dom Luiz, anil
- Ecoponto São Raimundo, Rua 03, Quadra 50, próximo ao ponto final do bairro
- Ecoponto Cidade Operária - Unidade 205, Avenida Leste 103, próximo ao à UEB Mata Roma
- Ecoponto Itapiracó, Avenida Joaquim Mochel, Cohatrac IV, próximo ao Campo do Léozão
- Ecoponto Sacavém, Avenida dos Africanos, próximo ao antigo Habib's
- Ecoponto Parque dos Nobres, Rua dos Imperadores, próximo à Igreja Nossa Senhora do Perpétuo Socorro
- Ecoponto Barreto, Rua Cinco de Janeiro, Barreto/IvarSaldanha, próximo ao Centro Educacional Coelho Neto
- Ecoponto Primavera, Avenida Contorno Sul, s/n, Residencial Primavera, próximo ao Colégio Shalom
- Ecoponto Cohaserma, Rua 14, s/nº, Cohaserma
- Ecoponto Centro, Avenida Senador Vitorino Freire, s/nº, Anel Viário
- Ecoponto Vila Isabel, Avenida dos Portugueses, s/nº, Vila Isabel
- Ecoponto Cohab Anil, Avenida Principal, s/nº, Planalto Anil I, próximo ao Fest Lanches
- Ecoponto Avenida dos Holandeses, Avenida dos Holandeses, s/nº, Calhau, próximo à antiga loja Jacaúna
- Ecoponto Calhau Borborema, Avenida Borborema, s/nº, Calhau
- Ecoponto Recanto do Vinhais;
- Ecoponto Jardim São Cristóvão
- Ecoponto Cidade Universitária Paulo VI – Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Localização dos Ecopontos na Cidade de Imperatriz - MA

- Recanto Universitário 1 ASCAMARI, Av. Itaipu, S/N, próximo à quadra de esportes
- RECANTO UNIVERSITARIO 2, Rua Xinguara s/n – próximo ao 14º PBM
- PARQUE ALVORADA, Rua Buriti – s/n, esquina com Rua Principal
- BAIRRO CAEMA 01, Rua Tupinambá S/N, esquina da Rua Nova
- BAIRRO CAEMA 02, Rua Antônio de Moraes S/ N, final da Rua
- BAIRRO BACURI, Rua Manoel Bandeira Nº 2548, entre as ruas Euclides da Cunha e Henrique Dias
- NOVA IMPERATRIZ, Rua Alagoas S/N, próximo ao muro do 50 BIS



-
- PARQUE SÃO JOSE, Rua 08 – S/N, entre as ruas Frei Damião e São José
 - PARQUE SÃO JOSE, Rua São Domingos – S/N, entre a Rua 08 e São José
 - BAIRRO PLANALTO 01, Rua Dom Marcelino Nº 11, entre Av. Imperatriz e Abolição
 - PARQUE DAS PALMEIRAS, Rua Aimorés S/N, entre a Av. Jacob e Rua Brasil
 - VILA CAFETEIRA, Rua Duque de Caixas S/N, entre Rua Carolina e Tancredo Neves

Parceiros na coleta seletiva com a Semmarh e Ascamari - Imperatriz

- CONDOMÍNIO PORTO REAL, Rua XV de Novembro - Beira Rio
- VLI LOGÍSTICA, BR 010 – Bairro Itamar Guará, Ferrovia Norte Sul
- ACA BRASIL, BR 010 – Bairro Itamar Guará, Ferrovia Norte Sul
- EXPAN, BR 010 – Bairro Itamar Guará, Ferrovia Norte Sul
- ATACADÃO SUPERMERCADO, BR. 010 Parque Anhanguera
- BANCO DO NORDESTE, AV. Getúlio Vargas, Centro
- HOTEL IBIS, AV. Getúlio Vargas, Centro
- SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO, Rua Ceará, Centro
- SEST SENAT, BR.010
- INFRAERO, Aeroporto
- ARMAZÉM PARAÍBA, Calçadão
- COLÉGIO SANTA LUZIA, Rua Padre Cícero, Santa Rita
- ESCOLA MUNICIPAL FREI MANOEL PROCOPIO, RUA Dom Pedro II, Centro
- SHOPING IMPERIAL E HOTEL E IMPERIAL, BR.010, Jardim São Luís
- IGREJA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO, Novo Horizonte

Fonte: Prefeitura de São Luís – 2021; Prefeitura de Imperatriz, 2019



Tabela 12 - Valores de Coeficiente de Permeabilidade de Solos (k)

Grau de Permeabilidade	Textura	K(cm/s)
Solos Permeáveis		
Alta	Pedregulho	$>10^{-1}$
Média	Areias	10^{-1} a 10^{-3}
Baixa	Silte e Argilas	10^{-3} a 10^{-5}
Solos Impermeáveis		
Muito Baixa	Argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Baixíssima	Argilas	$< 10^{-7}$



Tabela 13 - Projeção da População e produção de Resíduos Sólidos para o Ano de 2040

			DADOS POPULACIONAIS			POPULAÇÃO NÃO ATENDIDA			COLETA DE LIXO SÓLIDO URBANO			DEMANDA	
Microrregião de Saneamento	Região de Desenvolvimento	ANO	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total de lixo Produzido (kg/dia)	Total de lixo Coletado (kg/dia)	Produção per capita domiciliar (kg/hab/dia)	Resíduos da Saúde (t/ano)	Construção civil, varrição pública e outros (t/dia)
Microrregião Centro-leste	Guajaras	2040	373.608	201.910	171.698	167.849	0,00	167.849	395.020,44	395.020,44	0,82	225,49	140,89
	Mearim	2040	441.617	262.261	179.356	177.158	0,00	177.158	397.455,76	397.455,76	0,74	261,43	146,36
	Médio Parnaíba Maranhense	2040	277.101	203.671	73.430	72.573	0,00	72.573	359.521,13	359.521,13	0,92	164,04	119,64
	Timbiras	2040	283.540	204.379	79.161	77.163	0,00	77.163	330.165,27	330.165,27	0,71	167,85	98,69
Microrregião Noroeste	Gurupi Maranhense	2040	240.078	152.955	87.123	82.656	0,00	82.656	302.182,72	302.182,72	0,92	125,05	96,77
	Pindaré	2040	489.771	269.858	219.913	216.196	0,00	216.196	530.251,95	530.251,95	0,82	286,93	181,29
Microrregião Norte	Baixada Maranhense	2040	278.753	123.079	155.674	151.555	0,00	151.555	254.536,12	254.536,12	0,71	144,62	88,81
	Baixo Parnaíba Maranhense	2040	315.551	171.735	143.816	143.549	0,00	143.549	463.488,27	463.488,27	0,70	186,80	146,21
	Campos e Lagos	2040	278.753	123.079	155.674	151.555	0,00	151.555	254.536,12	254.536,12	0,71	144,62	88,81
	Cocais	2040	243.248	158.643	84.605	79.115	0,00	79.115	269.562,16	269.562,16	1,04	144,00	111,03
	Delta das Américas	2040	202.234	70.227	132.007	126.199	0,00	126.199	151.078,60	151.078,60	0,53	130,85	63,60
	Lençóis Maranhenses	2040	161.130	58.926	102.205	101.564	0,00	101.564	134.624,28	134.624,28	0,55	95,38	48,15
	Médio Itapecuru	2040	301.943	160.784	141.159	138.892	0,00	138.892	292.398,71	292.398,71	0,78	178,75	115,12
	Médio Mearim	2040	190.828	110.929	79.899	74.590	0,00	74.590	160.488,12	160.488,12	0,84	112,96	68,15
	Metropolitana de São Luís	2040	1.806.505	1.412.354	394.151	217.909	0,00	217.909	1536.186,89	1.536.186,89	0,81	1012,48	667,03
	Reentrâncias Maranhenses	2040	132.612	73.002	59.611	59.001	0,00	59.001	301.197,72	301.197,72	0,80	78,51	86,40
Microrregião Sul	Alpercatas	2040	85.497	47.489	38.009	37.785	0,00	37.785	132.395,73	132.395,73	0,86	50,61	45,34
	Amaznia Maranhense	2040	358.645	156.109	202.536	200.179	0,00	200.179	340.144,80	340.144,80	0,71	212,32	128,02
	Gerais de Balsas	2040	244.198	169.106	75.092	69.557	0,00	69.557	306.014,64	306.014,64	1,09	133,77	112,08
	Serras	2040	186.615	85.376	101.238	97.720	0,00	97.720	169.343,68	169.343,68	0,73	110,47	59,20
	Sertão Maranhense	2040	155.463	99.301	56.162	55.447	0,00	55.447	184.015,74	184.015,74	0,81	92,03	60,45
	Tocantins Maranhense	2040	565.175	431.382	133.794	112.990	0,00	112.990	568.948,13	568.948,13	0,65	328,53	151,09





Tabela 14 -Projeção Populacional, produção per capita de produção e coleta de lixo para o ano de 2040, volume / peso específico e tamanho de área para implantação de aterros sanitários

	Dados populacionais			população não atendida		Coleta de lixo sólido urbano		demanda					
Microrregião de Saneamento	Total	Urbana	Rural	Total	Rural	Total de lixo Produzido (kg/dia)	Total de lixo Coletado (kg/dia)	Produção per capita domiciliar (kg/hab/dia)	Resíduos da Saúde (t/ano)	Construção civil, varrição pública e outros (t/dia)			
Microrregião Sul	1.595.593	988.762	606.831	573.678	573.678	1.700.863	1.700.863	1,07	927,73	556			
Microrregião Norte	3.911.557	2.462.757	1.448.801	1.243.927	1.243.927	3.818.097	3.818.097	0,98	2.228,98	1.483			
Microrregião Centro-leste	1.375.866	872.221	503.645	494.743	494.743	1.482.163	1.482.163	1,08	818,81	506			
Microrregião Noroeste	729.849	422.813	307.036	298.852	298.852	832.435	832.435	1,14	411,98	278			
	Dados populacionais			população não atendida		Peso Específico do Lixo Compactado (dia/ano)				Área Mínima (Hectares)			
Microrregião de Saneamento	Total	Urbana	Rural	Total	Rural	Volume Lixo 500m³/dia	Volume Lixo 700m³/dia	Volume Lixo 500m³ - 2040	Volume Lixo 700m³ - 2040	Área Mínima (500m³/3metros)	Área Mínima (500m³/6metros)	Área Mínima (700m³/3metros)	Área Mínima (700m³/6metros)
Microrregião Sul	1.595.593	988.762	606.831	573.678	573.678	3.402	2.430	24.832.596	17.737.568	828	414	591	296
Microrregião Norte	3.911.557	2.462.757	1.448.801	1.243.927	1.243.927	7.636	5.454	52.957.005	39.817.297	1.765	883	1.327	664
Microrregião Centro-leste	1.375.866	872.221	503.645	494.743	494.743	2.964	2.117	20.557.595	15.456.839	685	343	515	258
Microrregião Noroeste	729.849	422.813	307.036	298.852	298.852	1.665	1.189	11.545.869	8.681.104	385	192	289	145



Quadro 2 - Localização dos Aeroportos, Aeródromos e Helipontos do estado do Maranhão

Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Comprimento	Largura	Superfície
AERÓDROMOS PRIVADOS							
Antônio Guerreiro	Guimarães	2° 6' 38" S	44° 39' 9" W	75 m	800 m	18 m	Piçarra
Boa Esperança	Santa Luzia	3° 54' 43" S	45° 46' 59" W	74 m	841 m	18 m	Piçarra
CAVU - Clube de Aviação Ultraleve	Raposa	2° 26' 30" S	44° 7' 29" W	33 m	550 m	18 m	Asfalto
Comandante Carlos Inácio Agnes	Davinópolis	5° 35' 1" S	47° 25' 41" W	135 m	1050 m	20 m	Piçarra
Coronel Alexandre Raposo	Paço do Lumiar	2° 31' 25" S	44° 7' 27" W	47 m	1000 m	30 m	Asfalto
Domingos Rego	Timon	5° 4' 51" S	42° 52' 25" W	92 m	1518 m	30 m	Asfalto
Dr. Almir Lopes de Oliveira Melo	Coelho Neto	4° 16' 8" S	43° 0' 2" W	53 m	1430 m	23 m	Asfalto
Fazenda Agro-Maratá	Santa Luzia	4° 19' 10" S	46° 13' 30" W	298 m	1200 m	25 m	Asfalto
Fazenda Águia Branca	Centro Novo do Maranhão	3° 19' 36" S	46° 46' 36" W	125 m	800 m	18 m	Piçarra
Fazenda Alice	Sambaíba	7° 37' 39" S	45° 41' 34" W	378 m	920 m	18 m	Piçarra
Fazenda Americana	Barra do Corda	5° 37' 7" S	45° 15' 56" W	163 m	800 m	18 m	Piçarra
Fazenda Bacatuba	Buriti Bravo	5° 39' 30" S	43° 42' 20" W	178 m	900 m	18 m	Piçarra
Fazenda Bacuri	Riachão	8° 22' 58" S	46° 26' 32" W	553 m	900 m	18 m	Cascalho
Fazenda Bola Sete	Itinga do Maranhão	4° 34' 9" S	47° 28' 16" W	213 m	1000 m	20 m	Terra
Fazenda Bonanza	Arame	5° 9' 26" S	45° 54' 56" W	283 m	820 m	18 m	Cascalho
Fazenda Campo das Princesas	Timon	5° 19' 20" S	42° 49' 46" W	10 m	900 m	18 m	Asfalto
Fazenda Canoa Quebrada	Grajaú	5° 56' 17" S	46° 14' 56" W	291 m	1200 m	23 m	Cascalho
Fazenda Gesso Integral	Grajaú	5° 46' 26" S	46° 9' 53" W	226 m	700 m	18 m	Piçarra
Fazenda Irajá	Balsas	7° 19' 6" S	46° 4' 27" W	275 m	800 m	20 m	Cascalho
Fazenda Lagoa da Floresta	Barra do Corda	5° 29' 19" S	45° 29' 19" W	180 m	799 m	18 m	Terra
Fazenda Liliani	Bom Jardim	4° 12' 49" S	46° 58' 30" W	292 m	960 m	28 m	Cascalho
Fazenda Mata Escura	Parnarama	5° 44' 43" S	43° 36' 13" W	217 m	1000 m	21 m	Piçarra
Fazenda Nova Holanda	Balsas	8° 48' 25" S	46° 21' 32" W	505 m	1050 m	18 m	Terra
Fazenda Olho D´Água	Parnarama	5° 40' 0" S	43° 32' 6" W	119 m	1200 m	20 m	Cascalho
Fazenda Planeste	Balsas	8° 33' 22" S	46° 51' 0" W	561 m	1300 m	25 m	Terra
Fazenda Rio Largo	Caxias	5° 11' 49" S	43° 35' 52" W	140 m	1000 m	21 m	Piçarra
Fazenda Rio Verde	Loreto	7° 29' 45" S	45° 30' 3" W	347 m	930 m	18 m	Piçarra
Fazenda Roseira	São Raimundo das Mangabeiras	7° 13' 52" S	45° 52' 55" W	360 m	620 m	18 m	Piçarra
Fazenda Sibéria	Grajaú	5° 43' 20" S	45° 47' 29" W	226 m	799 m	18 m	Terra
Fazenda Soberana	Grajaú	5° 27' 21" S	46° 3' 45" W	127 m	718 m	18 m	Cascalho
Fazenda Viamão	Arame	5° 17' 21" S	46° 0' 6" W	263 m	900 m	18 m	Cascalho
Fazenda Vida	Barra do Corda	5° 50' 24" S	45° 32' 31" W	250 m	799 m	18 m	Terra
FC	Codó	4° 30' 33" S	43° 55' 13" W	69 m	850 m	20 m	Piçarra
Francisco Ramalho	Pedreiras	4° 35' 2" S	44° 32' 46" W	43 m	550 m	18 m	Piçarra
Gessomar	Codó	4° 31' 15" S	43° 55' 10" W	58 m	700 m	18 m	Piçarra
Itapicuru	Codó	4° 30' 47" S	44° 1' 12" W	56 m	1475 m	29 m	Asfalto
José Mendes Ribeiro	São João dos Patos	6° 30' 2" S	43° 41' 3" W	362 m	600 m	18 m	Piçarra
Pequena Holanda I	Alto Parnaíba	9° 0' 33" S	46° 8' 11" W	491 m	1000 m	18 m	Cascalho
Renascer	Arame	4° 47' 3" S	45° 50' 42" W	304 m	1000 m	18 m	Piçarra
Simasa	Açailândia	4° 52' 9" S	47° 23' 21" W	200 m	1190 m	23 m	Asfalto
Sítio Cajuapara	Itinga do Maranhão	4° 33' 53" S	47° 32' 41" W	299 m	1360 m	15 m	Cascalho
AEROPORTOS							



Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Comprimento	Largura	Superfície
Brigadeiro lysias augusto rodrigues	Carolina	7° 19' 14" S	47° 27' 31" W	172 m	1800 m	45 m	Asfalto
Prefeito Renato moreira	Imperatriz	5° 31' 50" S	47° 27' 30" W	131 m	1798 m	45 m	Asfalto
Marechal Cunha Machado	São luís	2° 35' 13" S	44° 14' 10" W	54 m	2385 m	45 m	Asfalto
João Silva	Santa Inês	3° 39' 14" S	45° 20' 42" W	25 m	1500 m	30 m	Asfalto
Barra do Corda	Barra do Corda	5° 30' 9" S	45° 12' 57" W	155 m	1560 m	30 m	Terra
Bacabal	Bacabal	4° 13' 41" S	44° 49' 11" W	20 m	1600 m	30 m	Asfalto
Balsas	Balsas	7° 31' 31" S	46° 3' 12" W	284 m	1000 m	23 m	Asfalto
Cururupu	Cururupu	1° 49' 16" S	44° 52' 1" W	12 m	750 m	30 m	Grama
Riachão	Riachão	7° 21' 1" S	46° 38' 2" W	400 m	1200 m	40 m	Terra
Pinheiro	Pinheiro	2° 29' 1" S	45° 4' 2" W	38 m	1740 m	30 m	Asfalto
Barreirinhas	Barreirinhas	2° 45' 24" S	42° 48' 16" W	4 m	1500 m	30 m	Asfalto

HELIPONTO

Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Dimensão	Superfície
Alphaville Araçagy	Paço do Lumiar	2° 28' 12" S	44° 10' 26" W	38 m	21 m x21 m	Concreto
Business Center Renascença	São Luís	2° 29' 55" S	44° 17' 5" W	70 m	18 m x18 m	Concreto
Central Engenharia	São Luís	2° 32' 7" S	44° 17' 59" W	19 m	18 m x18 m	Concreto
Comandante Endeel Gabriel	São Luís	2° 29' 6" S	44° 15' 4" W	38 m	18 m x18 m	Concreto
Delta	São José de Ribamar	2° 28' 40" S	44° 11' 2" W	43 m	18 m x18 m	Grama
Difusora	São Luís	2° 31' 29" S	44° 17' 27" W	15 m	18 m x18 m	Concreto
Dimensão Indústria	São Luís	2° 39' 31" S	44° 18' 4" W	28 m	20 m x20 m	Concreto
Fazenda Lago Azul	Igarapé do Meio	3° 39' 3" S	45° 12' 10" W	35 m	18 m x18 m	Grama
Fazenda Neloire	Bela Vista do Maranhão	3° 43' 53" S	45° 16' 24" W	55 m	18 m x18 m	Grama
Fazenda Santa Bárbara	Vitória do Mearim	3° 35' 19" S	45° 5' 44" W	21 m	19,5 m x19,5 m	Grama
Fazenda Santo Antônio	Matinha	3° 6' 58" S	45° 0' 46" W	18 m	18 m x18 m	Grama
Fazenda São Francisco	Viana	3° 12' 42" S	45° 2' 0" W	6 m	19,5 m x19,5 m	Concreto
Flamboyant	Paço do Lumiar	2° 31' 13" S	44° 8' 14" W	38 m	19,5 m x19,5 m	Concreto
Grupo Tático Aéreo	São Luís	2° 29' 47" S	44° 16' 46" W	27 m	19,5 m x19,5 m	Concreto
Lagoa Corporate	São Luís	2° 30' 0" S	44° 18' 28" W	59 m	18 m x18 m	Concreto
Marcus Barbosa Empresarial Calhau	São Luís	2° 29' 35" S	44° 16' 29" W	102 m	18 m x18 m	Concreto
Office Tower	São Luís	2° 30' 5" S	44° 17' 27" W	70 m	18 m x18 m	Concreto
Pedra Caída	Carolina	7° 2' 27" S	47° 26' 35" W	250 m	19,5 m x19,5 m	Concreto
Sierra Wriskey Victor Romeu	Penalva	3° 15' 57" S	45° 10' 54" W	15 m	18 m x18 m	Concreto
Tech Office	São Luís	2° 29' 27" S	44° 18' 11" W	76 m	18 m x18 m	Concreto
Two Towers	São Luís	2° 29' 22" S	44° 17' 44" W	88 m	18 m x18 m	Concreto
Veja	Paço do Lumiar	2° 31' 32" S	44° 7' 32" W	42 m	19,5 m x19,5 m	Concreto

