

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
CEARÁ – IFCE CAMPUS FORTALEZA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO – PPRI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO
AMBIENTAL – PGTGA**

JEFERSON BOTELHO RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DO LIXÃO
DESATIVADO DO TIMBUBA/PAU-DEITADO EM SÃO JOSÉ DE RIBAMAR –
MA**

Fortaleza – CE

2022

JEFERSON BOTELHO RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DO LIXÃO
DESATIVADO DO TIMBUBA/PAU-DEITADO EM SÃO JOSÉ DE RIBAMAR –
MA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Área de concentração: Instrumentos de Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Titular Adeildo Cabral da Silva.

Fortaleza – CE

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R696c Rodrigues, Jeferson Botelho.

Caracterização e diagnóstico ambiental da área do lixão desativado do Timbuba/Pau-Deitado em São José Ribamar/MA / Jeferson Botelho Rodrigues. - 2022.
104 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.

1. Lixão. 2. Metais Pesados. 3. CONAMA nº 420/2009. 4. Portaria nº 888/2021. I. Título.

CDD 628

JEFERSON BOTELHO RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DO LIXÃO
DESATIVADO DO TIMBUBA/PAU-DEITADO EM SÃO JOSÉ DE RIBAMAR –
MA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovado (a) em: 30/09/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Titular Adeildo Cabral da Silva (Orientador/Presidente)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof^a. Dr^a. Teresa Raquel Lima Farias (Membro Interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof^a Titular Marisete Dantas de Aquino (Membro Externo)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Devemos acreditar que somos talentosos para algumas coisas, e que essas coisas, a qualquer custo, devem ser alcançadas.” (Marie Curie).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me sustentado com fé, determinação e, sobretudo, saúde durante essa jornada;

À minha mãe Eliane Botelho que sempre esteve ao meu lado em exatamente todos os momentos da minha vida acadêmica, sempre estimulando energias positivas a mim e à minha trajetória;

Aos meus irmãos Vitor Hugo e Reginaldo Filho pelo simples fato de se orgulharem de mim;

À minha madrinha Maria Rodrigues por prestar solidariedade em momentos únicos durante o Mestrado;

Ao meu namorado José Augusto Filho por me incentivar e me encorajar a sempre vencer os obstáculos encontrados até aqui;

Aos meus gatos Luke, Bibi, Estrela (*in memoriam*), Josh, Luna e Simba por serem, muitas vezes, fonte de carinho e conforto à minha alma;

Ao Orientador Prof. Dr. Adeildo Cabral por todas as diretrizes e conhecimentos passados a mim. Gratidão pela confiança, paciência e profissionalismo que sempre teve comigo;

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa concedida para o desenvolvimento dessa Pesquisa Científica;

À minha prima Tainan Souza por ter sido um alicerce fundamental em Fortaleza/CE quando mais precisei;

Aos meus amigos Débora Danna, Matheus Ericeira e Thalyssa Regina pelo apoio e auxílio prestado;

À minha amiga do Mestrado, Livia Ingrid, por sempre ser tão solícita e compreensível quando necessário;

Às pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram a vencer essa etapa mesmo que com uma palavra de conforto.

Serei eternamente grato. Muito obrigado!

RESUMO

As propriedades e características químicas, físicas e biológicas que compõem o meio ambiente, quando sofrem alterações e modificações em seu estado natural, podem gerar impactos negativos à fauna, flora, aos corpos hídricos e aos demais recursos ambientais, além de ocasionar desequilíbrio nas atividades socioeconômicas e causar impactos na saúde da coletividade. A comunidade do povoado Timbuba, localizada ao Noroeste de São José de Ribamar, pode ser considerada vulnerável social e ambientalmente ainda mais por situar-se próxima à uma área inapropriada onde foi depósito de resíduos sólidos urbanos durante anos. Para realização da presente pesquisa, se utilizou, inicialmente, como metodologia o Manual de Áreas Contaminadas da CETESB, onde foi dividida em 04 (quatro) fases: 01) Definição da área de interesse; 02) Identificação de áreas potencialmente contaminadas; 03) Avaliação preliminar e 04) Avaliação confirmatória. Os métodos empregados objetivaram identificar a presença de metais pesados no solo e na água, através de análises físicas e químicas. Foram utilizados também, durante o diagnóstico ambiental da área, ferramentas de geotecnologias para a determinação de: Declividade da área; Fluxo das águas superficiais; Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Quantificação dos focos de queimadas, por meio dos *softwares* QGIS 3.26 e ArcGIS 10.8.1. Por meio da análise de declividade do terreno da área de estudo, que há predominância de dois tipos de relevo: o relevo plano e o relevo ondulado, com cota de declividade de 0 a 3 % e 3 a 8%. Quanto ao fluxo de águas foi possível identificar que as regiões Norte, Oeste, Noroeste e Sul, possuem a predominância em relação à direção do fluxo, respectivamente. Referente ao NDVI da área estudada, verificou-se que a predominância da cobertura vegetal é “moderada”, uma vez que a média dos pixels esteve entre 0,41 a 0,60. Em se tratando dos focos de queimadas, houve presença de focos em 2018 e 2019, já em 2020, ano posterior ao encerramento do lixão, não foi detectado nenhum foco. Quanto a análise de metais pesados no solo, notou-se que há presença da concentração elevada de metais pesados em exatamente todos os pontos analisados, assim estando fora dos padrões estabelecidos pela CONAMA nº 420/2009, sendo uma área potencialmente contaminada. Referente a qualidade da água, verificou-se que os parâmetros se encontram em desconformidade com a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, sendo imprópria para consumo humano. Por conseguinte, conclui-se que há indícios de contaminação, uma vez que foram identificados elevados teores de metais pesado na água e no solo da área de estudo.

Palavras-chave: Lixão; Metais Pesados; CONAMA nº 420/2009; Portaria nº 888/2021

ABSTRACT

The chemical, physical and biological properties and characteristics that make up the environment, when they undergo changes and modifications in their natural state, can generate negative impacts on fauna, flora, water bodies and other environmental resources, in addition to causing an imbalance in socioeconomic activities and cause impacts on the health of the community. The community of Timbuba, located to the northwest of São José de Ribamar, can be considered socially and environmentally vulnerable, even more so because it is located close to an inappropriate area where it was a deposit of urban solid waste for years. To carry out this research, the Manual of Contaminated Areas of CETESB was initially used as a methodology, which was divided into 04 (four) phases: 01) Definition of the area of interest; 02) Identification of potentially contaminated areas; 03) Preliminary assessment and 04) Confirmatory assessment. The methods employed aimed to identify the presence of heavy metals in soil and water, through physical and chemical analyses. During the environmental diagnosis of the area, geotechnological tools were also used to determine: Declivity of the area; Surface water flow; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Quantification of fire outbreaks, using QGIS 3.26 and ArcGIS 10.8.1 software. Through the analysis of the slope of the terrain of the study area, there is a predominance of two types of relief: flat relief and wavy relief, with slopes ranging from 0 to 3% and 3 to 8%. As for the water flow, it was possible to identify that the North, West, Northwest and South regions have a predominance in relation to the flow direction, respectively. Regarding the NDVI of the studied area, it was found that the predominance of vegetation cover is “moderate”, since the average of the pixels was between 0.41 and 0.60. In terms of fire outbreaks, there were outbreaks in 2018 and 2019, while in 2020, the year after the landfill was closed, no outbreaks were detected. As for the analysis of heavy metals in the soil, it was noted that there is a high concentration of heavy metals in exactly all the analyzed points, thus being outside the standards established by CONAMA n° 420/2009, being a potentially contaminated area. Regarding water quality, it was found that the parameters are in disagreement with Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health, therefore being unfit for human consumption. Therefore, it is concluded that there are signs of contamination, since high levels of heavy metals were identified in the water and soil of the study area.

Keywords: Dumping Ground; Heavy Metals; CONAMA n° 420/2009; Ordinance n° 888/2021

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bioma de São José de Ribamar/MA	27
Figura 2 – Mapa de localização de São José de Ribamar (Área de Interesse)	38
Figura 3 – Área de Estudo: Área Potencialmente Contaminada	38
Figura 4 – Área de Influência Direta (AID) do Lixão do Timbuba	40
Figura 5 – Fluxograma da metodologia para quantificação dos focos de queimadas	43
Figura 6 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo.....	46
Figura 7 – Espacialização da Declividade da área de estudo	52
Figura 8 – Espacialização da direção do fluxo das águas superficiais	53
Figura 9 – Espacialização da cobertura vegetal da área de estudo	55
Figura 10 – Espacialização dos focos de queimadas e calor em 2018	58
Figura 11 – Espacialização dos focos de queimadas e calor em 2019	60
Figura 12 – Espacialização dos focos de queimadas e calor em 2020	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos de Declividade e respectivas Classes	41
Tabela 2 – Características dos pontos de coleta de solo	46
Tabela 3 – Parâmetros analisados na qualidade da água	47
Tabela 4 – Parâmetros de análise do solo	49
Tabela 5 – Parâmetros físicos de análise solo	49
Tabela 6 – Determinação do NDVI	56
Tabela 7 – Dados estatísticos da análise do NDVI.....	56
Tabela 8 – Impeditivos para detecção de queimadas.....	62
Tabela 9 – Resultados físicos do solo dos pontos da área de estudo.....	63
Tabela 10 – Valores Máximos Permitidos (VMP) para qualidade do solo	65
Tabela 11 – Resultados das análises de solo do P01	65
Tabela 12 – Resultados das análises de solo do P02	66
Tabela 13 – Resultados das análises de solo do P03	67
Tabela 14 – Resultados das análises de solo do P04	67
Tabela 15 – Resultados das análises de solo do P05	68
Tabela 16 – Resultados das análises de solo do P06	69
Tabela 17 - Resultados da análise da água do poço artesiano da área de estudo	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACs	Áreas Contaminadas
AID	Área de Influência Direta
Al	Alumínio
APA	Área de Preservação Permanente
As	Arsênio
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>e.coli</i>	Escherichia coli
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
Hg	Merúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade da Água
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
Mn	Manganês

NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
NH ₃	Amônia
Ni	Níquel
NO ²⁻	Nitrito
NO ³⁻	Nitrato
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais
SEMMAM	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UC	Unidade de Conservação
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Valor Máximo Permitido
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. Os Lixões	18
3.2. Aspectos Topográficos	21
3.2.1. Declividade e Topografia	21
3.2.2. Relevo	23
3.3. Características da Vegetação	24
3.3.1. Características Gerais de Vegetação	24
3.3.2. Vegetação no estado do Maranhão	25
3.3.3. Vegetação no município de São José de Ribamar	27
3.4. Queimadas	28
3.4.1. Breve Histórico de Queimadas	28
3.4.2. Queima de Resíduos Sólidos	29
3.5. Poluição e Contaminação dos Recursos Hídricos	31
3.6. Poluição e Contaminação do Solo	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1. Gerenciamento de Áreas Contaminadas	36
4.2. Caracterização da Área de Estudo (Definição da Área de Interesse e Identificação da Área Potencialmente Contaminada)	37
4.2.1. Município de São José de Ribamar/MA e Povoado Timbuba	37
4.3. Mapeamento da Declividade do Terreno e Fluxo das Águas Superficiais	40
4.4. Determinação do Índice de Vegetação	42
4.5. Quantificação dos Focos de Queimadas	42
4.5.1. Espacialização da Zona de Calor	43
4.6. Pontos de Amostragem e Procedimentos de Coleta	44
4.6.1. Coleta da Água	44
4.6.2. Coleta do Solo	45
4.7. Processamento das Amostras	47
4.7.1. Análise da Água	47
4.7.2. Análise do Solo	48

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1. Aspectos Fisiográficos da Área de Estudo	51
5.1.1. Declividade da Área do Lixão	51
5.1.2. Fluxo das Águas Superficiais.....	53
5.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	54
5.3. Quantificação dos Focos de Queimadas e Espacialização da Densidade de Calor 58	
5.4. Qualidade do Solo da Área do Lixão do Timbuba/Pau-Deitado	62
5.4.1. Apresentação e Discussão dos Resultados Físicos e Químicos – Solo ..	63
5.4.2. Apresentação dos Resultados Analíticos – Metais Pesados	64
5.4.3. Discussão dos Resultados Analíticos dos Metais Pesados	69
5.5. Qualidade da Água do Poço Artesiano da Área de Estudo	78
5.5.1. Apresentação dos Resultados Físicos, Químicos e Microbiológicos da Qualidade da Água do Poço Artesiano	78
5.5.2. Discussão dos Resultados da Qualidade da Água do Poço Artesiano ...	80
6. CONCLUSÃO.....	86
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
REFERÊNCIAS.....	89
ANEXO.....	100

1. INTRODUÇÃO

As propriedades e características químicas, físicas e biológicas que compõem o meio ambiente, quando sofrem alterações e modificações em seu estado natural, podem gerar impactos negativos à fauna, flora, aos corpos hídricos e demais recursos ambientais, além de ocasionar desequilíbrio nas atividades socioeconômicas, visto que os aspectos citados acima são fundamentais para o desenvolvimento e o bem estar da coletividade.

O impacto ambiental é qualquer alteração na qualidade do meio ambiente em um ou mais atributos ambientais, resultante de intervenções no meio ambiente pelas atividades de origem humana. As consequências, no entanto, a depender das modificações ocorridas num determinado espaço, são passíveis de variação, podendo ser benéficas ou prejudiciais à qualidade da saúde ambiental, assim, comprometendo a durabilidade dos recursos naturais.

Nesse sentido, observa-se o grau de complexidade e abrangência decorrentes das realizações de atividades ou ações antropogênicas, ao passo que altera os componentes bióticos e abióticos do meio ambiente nos seus mais diversos aspectos: natural, cultural, social ou econômico de forma danosa. As ações antropogênicas resultam em consequências e, em determinados casos, na contaminação do solo e das águas subterrâneas, deterioração da paisagem, dos alimentos, poluição visual, redução da biodiversidade nativa, redução da capacidade de sustentação da fauna e desequilíbrio ecológico, que ocasionam uma série de prejuízos à qualidade ambiental e, principalmente, a saúde pública.

A comunidade do povoado Timbuba, localizada ao Noroeste de São José de Ribamar, pode ser considerada vulnerável social e ambientalmente ainda mais por situar-se próxima à uma área inapropriada onde foi depósito de resíduos sólidos urbanos durante anos. O lixão, quando ativado, abrangia uma área de aproximadamente nove hectares, possuindo um terreno de difícil acesso, que recebia os resíduos domiciliares de todos os bairros de São José de Ribamar, até mesmo rejeitos de origem hospitalar que necessitam de uma segregação específica para sua destinação final.

Até o ano de 2018, de acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Grande São Luís, os habitantes da cidade de São José de Ribamar geravam 0,81 (kg/hab./dia) de resíduos sólidos que, conseqüentemente, tinham suas destinações em áreas inapropriadas para receberem os resíduos sem qualquer

segregação e, sendo uma dessas localidades inadequadas, o antigo lixão do Pau-Deitado/Timbuba.

Atualmente a antiga área onde foi depósito dos mais diversos tipos de resíduos ainda se encontra visivelmente impactada, pois há presença de resíduos enterrados que, por conseguinte, passam por processo de degradação e, por fim, geram poluição e contaminação, uma vez que há decomposição dos resíduos, incluindo os que possuem características químicas altamente contaminantes. Junto a isso, devido à ausência de frequência de coleta municipal de resíduos, os moradores continuam a utilizar a área como “lixão”, mesmo estando oficialmente desativado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMAM) do referido município.

Em 22 de julho de 2015 o Ministério Público do Estado do Maranhão propôs uma Ação Civil Pública com pedido de antecipação parcial da tutela contra o município de São José de Ribamar e o estado do Maranhão, no qual requereu que o município se abstenha imediatamente de depositar resíduos no lixão situado no local Canavieira/Timbuba e Pau-Deitado, no prazo de 15 dias, sob pena de multa diária de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais), em caso de descumprimento.

Apesar da decisão ter ocorrido no ano de 2015, o lixão somente foi desativado 04 (quatro) anos depois, no ano de 2019 e, no entanto, até o presente momento não foram aplicadas técnicas e medidas que tenham o objetivo de recuperar a área que se encontra ambientalmente degradada e possivelmente contaminada.

A intensiva disposição dos resíduos sólidos em lixões acarreta ainda mais à poluição das águas subterrâneas devido a geração e, consequentemente, a percolação do chorume, líquido escuro que contém alta carga poluidora, que pode ocasionar diversos efeitos deletérios sobre o meio ambiente. O chorume tem um alto potencial para alterar a qualidade hídrica, do solo e demais atributos ambientais, pois em sua composição há concentrações de matéria orgânica, presença de metais pesados, além da capacidade de biodegradabilidade ser reduzida.

Por intermédio do presente projeto, buscar-se-á compreender a interferência do antigo lixão do Pau-Deitado/Timbuba no ambiente onde ocorreu durante anos a disposição resíduos sólidos e no entorno da área, que até o momento não possui qualquer método de recuperação, assim sendo possível a contaminação do lençol freático e consequente prejuízo dos recursos hídricos subterrâneos da região, além de ocasionar mudanças na paisagem natural, poluição e contaminação do solo e impactos à saúde populacional.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar a caracterização e diagnóstico ambiental da área do antigo lixão e de sua área de influência, ambos localizados no Povoado Timbuba na cidade de São José de Ribamar – MA.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar a relação entre a declividade do terreno e a direção do fluxo das águas superficiais por meio de ferramentas de geoprocessamento utilizando o *software* ArcMap versão 10.8.1;
- Avaliar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) presente no perímetro do antigo lixão, através de dados de Sensoriamento Remoto com a utilização do *software* ArcMap versão 10.8.1;
- Quantificar os focos de queimadas e calor presentes na área de influência do estudo entre os anos de 2018, 2019 e 2020 por meio do *software* livre QGIS 3.26;
- Realizar análises físico-químicas e de metais pesados do solo na área onde ocorreu a disposição dos resíduos sólidos;
- Realizar análises físico-químicas e bacteriológicas para avaliação da qualidade da água do poço artesiano que abastece parte dos habitantes do povoado;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão expostas as informações da literatura que reforçam a importância e relevância sobre o tema estudado. Logo, será apresentado aqui, referências sobre os lixões, bem como os impactos negativos à qualidade de vida e ao meio ambiente, poluição dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, poluição e contaminação do solo, dentre outras informações pertinentes à temática que se faz produto dessa dissertação.

3.1. Os Lixões

Os lixões são caracterizados e definidos como áreas e locais em que os resíduos sólidos urbanos, industriais, orgânicos, dentre outras classificações, são depositados diretamente sobre a camada da superfície do solo sem qualquer forma de controle e gerenciamento ambiental. Tal prática é considerada irregular, visto que acarreta em problemas ambientais como poluição, contaminação e vulnerabilidade dos recursos naturais (RAMOS, *et. al.*, 2017).

Atualmente, um dos relevantes problemas e desafios que são enfrentados pelas cidades brasileiras está relacionado com a geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos, seja de origem urbana ou rural. Essa problemática aumenta com o crescimento populacional desordenado e pelo alto índice de consumo de bens industrializados sem qualquer racionalização e conhecimento de educação ambiental (CARRILHO; CÂNDIDO; SOUZA, 2018).

De acordo com Oliveira *et. al.*, (2016), os lixões ocasionam inúmeros prejuízos sanitários e ambientais em seu entorno, por conseguinte, tais problemáticas são conhecidas como contaminação do ar, do solo e poluição dos recursos hídricos. Junto a isso, soma-se a presença de vetores (urubus e ratos) que são prejudiciais à saúde da humanidade. Ressalta-se que a poluição e contaminação, embora com definições distintas, são provenientes da incorreta disposição de quantidade elevada de resíduos contaminados por substâncias químicas que contém potencial tóxico, mutagênicos e carcinogênicos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, conhecida como a Lei Federal Nº 12.305/2010, mais precisamente no Art. 3º, Inciso VIII, permite que a disposição de resíduos seja realizada de maneira ordenada e em aterros, assim sendo evidente que a

criação de lixões é expressamente proibida, já que o mesmo não possui técnicas mínimas para receber os resíduos.

Ainda com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), Art. 3º, Inciso VII, os resíduos sólidos podem ter uma destinação considerada ambientalmente correta quando são encaminhados para a reutilização, reciclagem, compostagem orgânica, recuperação, aproveitamento energético da matéria, dentre outros.

Com os lixões, ocorre o surgimento de vários problemas ambientais e sanitários, tais como poluição dos mananciais e aquíferos subterrâneos, contaminação do ar e do solo, presença de animais transmissores de doenças, poluição visual, dificuldade para navegação aérea, proliferação de vetores, odor e catadores que se encontram vulneráveis às condições socioambientais (ALMEIDA; COTA; RODRIGUES, 2020).

Segundo Zago e Barros (2019) em um sistema natural não há lixo, o que não serve mais para um ser vivo é absorvido por outros, de maneira contínua. No entanto, o modo de vida da humanidade está ligado à aceleração das práticas produtivas capitalistas, no qual descartar e ter algo novo, é uma das principais características do sistema e, como consequência, há a produção diária de uma quantidade e variedade de resíduos sólidos que não possuem gerenciamento adequado e, logo, são descartados em locais inapropriados, como por exemplos, os lixões. Mucelin e Bellini (2008), citam os impactos que agem de forma negativa tanto ao meio ambiente quanto à população do entorno de um lixão.

“Entre os impactos ambientais negativos que podem ser originados a partir do resíduo sólido urbano produzido estão os efeitos decorrentes da prática de disposição inadequada dos mesmos em fundos de vale, às margens de ruas ou cursos d’água. Essas práticas habituais podem provocar, entre outras coisas, contaminação de corpos d’água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como cães, gatos, ratos, baratas, moscas, vermes, entre outros. Some-se a isso a poluição visual, mau cheiro e contaminação do ambiente” (MUCELIN e BELLINI, pág.113, 2008).

Dentre os tantos sintomas que são sentidos como resultados do desenvolvimento cada vez mais acelerado do sistema capitalista de produção que é potencializado pelo modelo de globalização atual, destaca-se a questão da exacerbada na geração de resíduos, principalmente no meio urbano, por conta do consumo crescente de mercadorias e serviços pela população em geral (ALMEIDA; COTA; RODRIGUES, 2020). Já segundo Elk *et. al.*, (2022) com a geração de resíduos, oriunda do sistema capitalista, há

comprometimento de áreas sensíveis, como por exemplo, as bacias hidrográficas, devido ao chorume que é o subproduto da decomposição dos rejeitos dispostos em áreas inadequadas.

“O provimento desses produtos e serviços envolve processos diversos que estão associados à exploração de recursos naturais (muitas vezes em interações insustentáveis); adicionalmente, em muitas das atividades humanas surgem sobras, às quais chamamos resíduos (e não lixo) (ALMEIDA; COTA; RODRIGUES, 2020).”

De acordo com a Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS) os rejeitos são os resíduos sólidos que não possuem mais utilidade e precisam ser descartados em locais ambientalmente adequados. Ainda de acordo com a PNRS, os resíduos sólidos são quaisquer objetos, substâncias ou materiais provenientes de atividades humanas, que se encontram em estados sólido ou semissólido e que o seu lançamento seja inviável em redes públicas de esgoto ou em corpos hídricos.

De acordo com Ramos *et. al.*, (2017) o chorume, conhecido também como líquido lixiviado, é um líquido escuro que contém a composição físico-química e biológica variada oriundo, exclusivamente, do processo de decomposição da matéria orgânica (subproduto da decomposição do resíduo sólidos). De maneira geral, o líquido possui compostos polares, apolares e presença de metais pesados capazes de poluir e contaminar os recursos naturais, principalmente, os recursos subterrâneos e superficiais, incluindo água e solo.

De acordo com Celere *et. al.*, (2014), o líquido lixiviado (chorume) mostra que em sua composição há presença de metais pesados que são oriundos do processo de decomposição dos resíduos sólidos. Os autores afirmam que em um estudo realizado foi possível identificar alta concentração dos metais Cr (cromo), Mn (manganês), Pb (chumbo) e, principalmente, de Zn (zinco).

Ainda com Celere *et. al.*, (2014) o lixiviado é geralmente um líquido de cor escura, com um cheiro forte, que carrega alta carga orgânica e inorgânica, medida como DBO (demanda biológica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), sais inorgânicos, amônia, metais pesados (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) e compostos orgânicos xenobióticos e microrganismos.

Os pesquisadores Giacomazzo e Almeida (2020), afirmam que o contato entre o chorume com os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, tende a alterar a qualidade da água, uma vez que a interação entre a água e o lixiviado ocorre através da percolação e, conseqüentemente, ocorre infiltração até chegar aos recursos, podendo comprometer a qualidade hídrica e alterar parâmetros físicos, químicos e biológicos, além de afetar as espécies aquáticas.

Ainda com Giacomazzo e Almeida (2020), a contaminação pode ser direta quando ocorre o contato sem diluição do lixiviado, atingindo qualquer corpo hídrico; e indireta quando alcança ou atinge um curso d'água após o chorume sofrer várias alterações na composição e segue por quilômetros contaminando os leitos hídricos, isso pode ocorrer de acordo com a declividade em que o chorume percola.

Os resíduos que são depositados nas áreas inapropriadas, conhecidas como lixões, possuem em suas características físicas e químicas alguns elementos tóxicos, como cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), níquel (Ni) e mercúrio (Hg). Os materiais que contém alguns dos elementos químicos citados anteriormente são pilhas, baterias, lâmpadas, produtos farmacêuticos, dentre outros, ambos são considerados indicativos da poluição dos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos e dos solos, uma vez que liberam toxinas específicas através da decomposição da matéria (OLIVEIRA *et. al.*, 2016).

3.2. Aspectos Topográficos

3.2.1. Declividade e Topografia

Segundo Costa *et. al.*, (2019) a declividade é um modelo de inclinação da superfície terrestre de uma área, partindo da análise horizontal do terreno. É definida pelo ângulo observacional o grau de inclinação da superfície do solo em que o terreno se encontra. A declividade está relacionada tanto ao relevo quanto aos atributos ambientais presentes sob a superfície e é caracterizada pela interrelação da altura e distância de dois pontos.

De acordo com Chagas *et. al.*, (2013) a variabilidade da declividade influencia nas características topográficas de um terreno (altitude e elevação), o que pode causar elevadas modificações nos fatores ambientais, como, temperatura, ar, solo, evapotranspiração e direcionamento do fluxo das águas de chuvas/superficiais. Esses

fatores interferem na qualidade original dos processos naturais, entre eles, a infiltração de líquidos no solo.

A topografia de um terreno ou de uma área tem controle sobre os diversos processos e etapas hidrológicas de caráter superficial e sobre os ecossistemas presentes, influenciando na radiação de raios solares, precipitações, evaporação, escoamento superficial, regime da umidade do solo e até mesmo no tipo e desenvolvimento das espécies de vegetação (CHAGAS; FERNANDES FILHO; BHERING, 2013).

Os parâmetros e características topográficas são responsáveis por determinar a exposição de paisagens, condicionando e definindo, o microclima de áreas. Os aspectos topográficos de um terreno, por exemplo, influenciam no direcionamento e no fluxo superficial de águas, uma vez que a elevação e declividade são fatores determinantes para orientação do escoamento e acúmulo de águas (CHAGAS; FERNANDES FILHO; BHERING, 2013).

Ainda de acordo com Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013), os aspectos e atributos topográficos de uma área podem ser definidos através da aplicação de geotecnologia conhecida como “Modelo Digital do Terreno (MDT)” e “Modelo Digital de Elevação (MDE)”, ambos são conhecidos por realizarem a representação geográfica dos elementos que estão presentes na terra, como no caso o relevo, declividade e altitude, dentro das particularidades técnicas.

O Modelo Digital do Terreno (MDT) é o método utilizado para a definição dos atributos presentes na superfície da terra, ou seja, é a técnica que exporta informações como: altitudes, solo e cotas de terreno, sem levar em consideração as edificações/construções, árvores e demais atributos presentes acima do nível em que se encontra o terreno (VIANA, 2017).

Referente ao Modelo Digital de Elevação (MDE), Viana (2017), descreve que é o modelo tem como técnica e objetivo caracterizar os mesmos atributos do MDT, todavia, possuindo mais informações, como, no caso, exportando dados sobre os atributos presentes sob o nível do terreno, ou seja, disponibilizando informações de edificações e vegetais na área.

De acordo com Lima *et. al.*, (2021), a aplicação da avaliação de Modelos Digitais de Terrenos é eficaz, além de análise de declividade, na caracterização da determinação do fluxo do escoamento das águas superficiais. O fluxo e direção das águas é importante devido possuírem informações referentes desde ao abastecimento de água às inundações ocasionadas pelo acúmulo de água parada.

Segundo Oterga *et. al.*, (2022), a direção do fluxo em que a água escoar seja na rede de drenagem ou em terreno livre, está proporcionalmente ligada à declividade em que o terreno/área possui, ou seja, em áreas íngremes em que não haja erosão no solo, a água tende a percolar até corpos hídricos superficiais mais próximos. No entanto, em terrenos e áreas que possuem erosão, rupturas e declividade menos acentuada, a água tende a obter um escoamento lento, assim, podendo ocasionar acúmulo de água parada e infiltração no solo.

Através de Hamada, Caldas e Giacheti (2004), quanto menos compactado o solo estiver, maior será a infiltração. Especificamente em áreas de depósitos de resíduos sólidos, quando há presença de erosões e decomposição dos materiais dispostos na área e em solos que possuem compactação inferior a 85%, a infiltração ocorre de maneira acelerada, levando os metais pesados à contaminação do solo.

Ainda segundo Hamada, Caldas e Giacheti (2004), em solos com compactação de acima de 85% o escoamento de águas superficiais, no caso, do chorume, não seria infiltrado no solo e, logo, não comprometeria a qualidade física, química e microbiológica do atributo ambiental.

A declividade e os atributos que compõem o relevo de um terreno, determinam a direção do fluxo dos líquidos superficiais que percolam sobre o perímetro da área (OTERGA *et. al.*, 2021). Em casos de áreas que recebem os resíduos sólidos, uma vez que a superfície terrestre se encontre com sinais de erosões, o líquido (chorume) tende a percolar no interior do solo, contaminando-o e poluindo as águas subterrâneas, por exemplo.

3.2.2. Relevo

As interfaces que o relevo apresenta sobre as superfícies terrestres de uma área estão correlacionadas ao comportamento dos atributos ambientais presentes. A vegetação e o solo são atributos que se modificam a medida em que ocorre mudanças no relevo local, uma vez que, a partir do momento que o relevo está sobre modelagens e modificações físicas, tende a alterar o crescimento de plantas e facilita no surgimento de erosões na superfície (RODY *et. al.*, 2016).

O relevo é um atributo ambiental que está sob a superfície da Terra, apresentando variações e formas devido às características de agentes internos e externos. O relevo está associado às transformações e modificações geológicas e pode ser caracterizado como

relevo planos, relevo de planaltos, relevo montanhosos, depressões, dentre outras formas (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Ainda de acordo com Valle, Francelino e Pinheiro (2016) a fragilidade ambiental, além de ser existente devido ao desequilíbrio ecológico, está relacionada as modelagens que o relevo sofre. A modificação de paisagens e alterações naturais de um ambiente podem estar associadas à sensibilidade que o relevo desperta nas áreas, tornando as áreas frágeis ambientalmente, como, por exemplo, a exposição do solo.

O mapeamento de áreas sensíveis ou áreas expostas que tenham sido alteradas devido à modelagem do relevo, permite que essas áreas tenham maior atenção, visto que estão sendo utilizadas de maneira incorreta e podem contribuir com desastres naturais ou desgastes dos recursos ambientais (FRANCO *et. al.*, 2013).

As áreas ambientalmente vulneráveis tendem a ter o relevo com alterações que interferem no desempenho da qualidade dos recursos ambientais. A medida em que o relevo sofre modificações (devido à retirada de vegetação) e inundações constantes, ocorrem mudanças significativas na declividade e, conseqüentemente, na topografia original do meio (KEMENES, 2003).

De acordo com Bricalli e Queiroz Neto (2015) as características que compõem os atributos do relevo influenciam no desenvolvimento de vegetações nas superfícies terrestres. Os relevos do tipo “depressão” apresentam inclinações e podem estar acompanhados de erosões antrópicas ou naturais, visto que nesse tipo de relevo, em específico, a existência de vegetação é quase inexistente devido a topografia do ambiente local.

3.3. Características da Vegetação

3.3.1. Características Gerais de Vegetação

A vegetação é definida por um aglomerado de plantas presentes numa região, que está relacionada às características de clima, relevo e outros fatores ambientais. Os atributos ambientais que compõem a paisagem, meio físico e meio biótico, são dependentes da variação de umidade e temperatura, logo, cada região possui vegetações distintas, o que forma a biodiversidade do meio ambiente (SOUZA *et. al.*, 2022).

Segundo Souza *et al.*, (2022) em estudo realizado na Floresta do domínio Mata Atlântica no sul do Brasil foi identificado que as características do meio ambiente e as

modificações nos gradientes ambientais estão relacionadas à declividade, ao solo e a vegetação, ambos interligados para composição de um ecossistema. O estudo evidenciou que a área quando declive não dispõe de intensa vegetação, todavia, ações de conservação e proteção podem garantir a manutenção da vegetação existente.

De acordo com Jesus e Kuplich (2021) o território brasileiro dispõe de um vastos tipologias florestais que são compostas através de fisionomias diferentes. Os autores afirmam que as vegetações são arbóreas ou florestais, tendo características densas e compostas por árvores que depende da biogeografia para serem consideradas vegetação nativa ou secundária.

As vegetações nativas ou secundárias possuem papel importante na cobertura do solo de um terreno e a capacidade de interferir a existência ou redução das erosões, evitando a infiltração de líquidos no solo. Ainda, a biodiversidade da vegetação é capaz de conservar, proteger e manter a diversidade faunística de um ecossistema, além de realizar a autodepuração das águas superficiais, podendo reduzir ou remover a quantidade de nutrientes em excesso (MARTINS *et. al.*, 2022).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) a vegetação que está sobreposta no Brasil é composta por absolutamente seis biomas, conhecidos como: Bioma Amazônia, Bioma Cerrado, Bioma Mata Atlântica, Bioma Caatinga, Bioma Pampa e Bioma Pantanal. Dentre os biomas citados acima o que possui maior territorialidade sobre o Brasil é o Bioma Amazônia (49,3%), assim, evidenciando que o índice de vegetação maior é composto pela flora amazônica, a mesa tendo características de folhas densas.

Ainda de acordo com o IBGE (2022) a ocupação dos biomas é: Amazônia é de 49,3%, Cerrado 23,9%, Mata Atlântica 13%, Caatinga 9,9%, Pampa 2,1% e Pantanal 1,8%. Portanto, o Instituto destaca que o bioma Pampa e Pantanal ocupam aproximadamente 2% das terras brasileiras, tendo uma vegetação pouco mais difícil de ser encontrada.

3.3.2. Vegetação no estado do Maranhão

O estado do Maranhão possui uma área de 328.633 km², é conhecido como o oitavo maior estado do Brasil, e o segundo da região Nordeste em relação a área territorial (MACHADO E PINHEIRO, 2016). Segundo Rolim Filho e Andrada (2016) o estado que é rico em biodiversidade florística e faunística, tem como capital São Luís que faz parte

da ilha de Upaon-Açú, situada no Golfão Maranhense e banhada pelos rios Mearim, Grajaú, Itapecuru-Mirim e Pindaré.

Segundo um estudo realizado pela EMBRAPA (2016) a vegetação predominante no estado do Maranhão é composta por matas dos cocais situada ao leste do estado, mangues que ficam no litoral maranhense, floresta amazônica localizada a oeste e o cerrado, localizado ao sul do Maranhão.

O estudo realizado pela EMBRAPA (2016) obteve resultados que evidenciara que o estado maranhense possui características bióticas voltadas especificamente para os biomas Caatinga, Amazônia e Cerrado, estes biomas chegam a ocupar 1%, 35% e 64%, respectivamente, do território maranhense. A vegetação dos biomas mencionados são responsáveis por compor o mosaico da biodiversidade da flora e as demais características da biota.

O bioma Caatinga no Maranhão tem quase 10% da sua área localizada em unidades de conservação, na categoria de “Área de Preservação Ambiental (APA de Uso Sustentável)” (VIANA *et. al.*, 2021). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013), embora se tenham ações que objetivam determinar a criação de mais unidades de conservação estadual e federal, a Caatinga continua como um dos biomas brasileiros que possuem menos proteção quanto ao uso e manutenção dos recursos ambientais que o mesmo dispõe.

O bioma Amazônia, segundo a EMBRAPA (2016) é caracterizado por possuir vegetação de árvores altas, presença de matas de igapó (permanentemente inundadas) e matas de várzeas nas planícies (periodicamente inundadas). De acordo com Celentano e Martins (2018) a Amazônia Maranhense além de rica em biodiversidade da biota, possui a existência de Corredores Ecológicos que pode conectar os principais remanescentes florestais da região, através da mata ciliares dos rios do estado.

De acordo com Reis e Conceição (2010) o maior ecossistema maranhense é o Cerrado e está distribuído entre 138 municípios do estado, na Região Oriental e Centro-Sul. O Cerrado é conhecido por ter uma vegetação composta por árvores, gramíneas e arbustos de pequeno porte. As árvores possuem galhos e troncos retorcidos, folhagem grossa e as raízes são profundas.

Segundo o Código Florestal Brasileiro, Lei Federal nº 12.651/2012, há restrições para o desenvolvimento de atividades e uso de áreas que são localizadas no bioma Amazônia e Cerrado, como por exemplo, o desenvolvimento de atividades na Amazônia deve manter preservado 65% da área de Reserva Legal da área total, e no bioma Cerrado

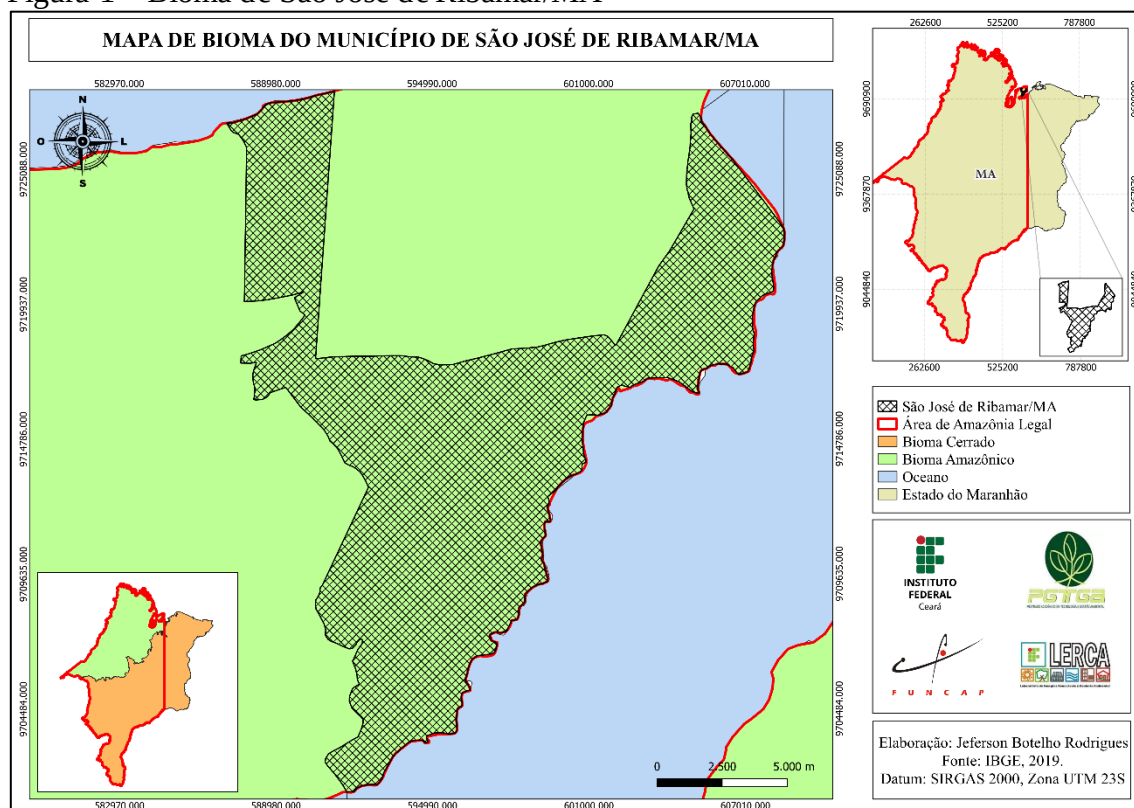
deve-se manter a área de Reserva Legal de 35%, tal fato evidencia e protege os biomas que compõem parte do Brasil.

3.3.3. Vegetação no município de São José de Ribamar

De acordo com o IBGE (2019) o município de São José de Ribamar se encontra 100% inserido no bioma Amazônia e está situado em um Sistema Costeiro-Marinho. Em estudo realizado pelo IBGE em 2010, destacou-se que somente pouco mais de 20% da cidade possui arborização em vias públicas.

O município está inserido dentro da área Amazônia Legal, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), como mostra a Figura 01 abaixo, logo, a vegetação precisa de atenção maior quanto à preservação. A flora do município é caracterizada por ser densa e obter grande porte na folhagem e raízes extensas, além de possuir as matas de terra firme, mata de várzea e matas de igapó.

Figura 1 – Bioma de São José de Ribamar/MA



Fonte: Autor (2022).

A cidade de São José de Ribamar, de acordo com Lima *et. al.*, (2018) também possui características de fisionomia vegetal voltadas para as restingas (áreas de litorânea),

uma vez que o município faz parte do Litoral Maranhense, tendo em seu entorno cobertura vegetal com características de manguezais extensos, possuindo biodiversidade aquática densa e diversificada.

Através do estudo realizado por Lima *et. al.*, (2018) foi verificado que a vegetação da área estudada (redondezas de uma Praia de São José de Ribamar) seis fisionomias novas na restinga, elas foram: campo fechado inundável de dunas, campo aberto não-inundável, campo aberto inundável-halófilo, campo fechado de pós-dunas, frutíceto fechado não inundável e frutíceto aberto não inundável. As vegetações possuem características de campos e arbustos com folhagem de grande porte.

Segundo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA (2016), o município de São José de Ribamar possui duas Áreas de Preservação Ambiental (APA) chamadas Área de Proteção Ambiental do Itapiracó e Área de Proteção Ambiental do Upaon-Açú/Miritiba/Alto do Preguiça.

A APA do Itapiracó foi criada através do Decreto nº 15.618 de junho do ano de 1997, com o objetivo principal de conservar e preservar os atributos naturais ainda existentes no perímetro da APA. Na APA foram catalogadas exatamente 33 espécies de vegetação remanescente do bioma Amazônia, como: Juçara, Tucum, Janaúba e Ipê (SEMA, 2016).

A APA do Upaon-Açú / Miritiba / Alto Preguiças é caracterizada como uma Unidade de Conservação (UC), de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Lei Federal nº 9.985/2000). A UC foi criada por meio do Decreto nº 12.428 de 05 de junho do ano de 1992, tendo como objetivo principal controlar o uso e ocupação do solo e à proteção da flora. Na APA do Upaon-Açú / Miritiba / Alto Preguiças a vegetação predominante é conhecida como restinga, uma vez que a UC está localizada em municípios do litoral maranhense, incluindo a cidade de São José de Ribamar (SEMA, 2016).

3.4. Queimadas

3.4.1. Breve Histórico de Queimadas

De acordo com o Art. 225 da Constituição Federal de 1988, todos os seres humanos tem o expresso direito viver em um meio ambiente ecologicamente equilibrado, visando a íntegra qualidade de vida. Junto a isso, o Poder Público e a sociedade têm o

dever de defender e preservar os recursos ambientais para que as futuras gerações possam usufruir.

Segundo a Lei Federal nº 9.605 do ano 1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, Art. 54, descreve que ocasionar poluição de qualquer natureza em níveis que possam resultar danos à saúde humana é considerado crime e o infrator passa por sanções administrativas e penais.

Fonseca-Morello *et. al.*, (2017) é possível definir queimadas como práticas realizadas em áreas de pastagem, de florestas e demais áreas, com objetivo de “limpar” o ambiente ou eliminar algum material indesejado. A prática irregular de queimadas, ocasionadas pela coletividade, traz prejuízos à saúde populacional e aos atributos ambientais.

O Brasil tem formações vegetais extensas ao longo do seu território, e tais espécies da flora são afetadas de maneira negativa devido a ocorrência de focos queimadas irregulares. Em um estudo realizado por Jesus *et. al.*, (2020) a incidência de queimadas ocorre em todos os biomas do Brasil, todavia, de forma mais intensa no Cerrado e Amazônia, consecutivamente.

No Brasil, a identificação e o monitoramento de incêndios florestais e dos focos de queimadas, ocorre através dos satélites que se encontram em órbita e, logo, o cálculo, a estatística e a previsão de risco de focos de fogo nas vegetações são realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Programa Queimadas (JESUS *et. al.*, 2020).

Os incêndios ou queimadas em áreas que possuem vegetação pode ocasionar prejuízos em grande escala aos recursos naturais, como por exemplo, à flora nativa, à fauna, aos seres humanos, inclusive com a perda de vida dos indivíduos. O desequilíbrio ambiental ocasionado por práticas de queimadas é caracterizado, além da ameaça de extinção da biodiversidade, a destruição de habitats (SILVA *et. al.*, 2021).

Ainda de acordo com Silva *et. al.*, (2021) a maior parcela dos incêndios florestais é de origem da humanidade, principalmente os que são provocados de forma intencional, seja por motivos passionais ou desinformação técnica. Embora saiba que os incêndios naturais sejam inferiores aos praticados pela sociedade, ainda há negligência do governo contra às sanções penais e administrativas referentes ao crime, uma vez que as queimadas irregulares crescem anualmente.

3.4.2. Queima de Resíduos Sólidos

Segundo o Departamento de Economia do Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana – SELURB (2019) a existência de lixões e outros locais inadequados onde são depositados resíduos no Brasil, respondem por cerca de pouco mais que 6 milhões de toneladas de gases de efeito estufa anualmente.

A queima de resíduos sólidos é uma técnica irregular que tem como objetivo eliminar resíduos de forma inadequada, sem segregação ou qualquer outro tipo de separação dos resíduos. Tal técnica é encontrada, principalmente, em locais onde há ausência de saneamento básico, uma vez que o manejo de resíduos faz parte dos pilares de saneamento (CARDOZO; MANNARINO; FERREIRA, 2021).

Durante as queimas de resíduos há liberação de agentes físicos e químicos prejudiciais aos fatores presentes no meio ambiente, quanto à saúde pública. A presença de monóxido de carbono (CO), por exemplo, é formada por objetos ou materiais que não tem a combustão correta, devido a quantidade reduzida de oxigênio durante o processo de queima (STROBEL; WALDNER; GABLINGER, 2018).

Os processos de queimas de resíduos sólidos ocasionam a deterioração dos atributos ambientais, ou seja, enfraquece os nutrientes do solo, elimina a vegetação e ameaça os componentes da fauna que estão próximos dos focos de queimadas, além de provocar danos à saúde do ser humano, uma vez que a liberação de particulados inaláveis acarretam em problemas de saúde (FEARNSIDE, 2002).

A queima de plásticos em locais inadequados é uma das principais fontes de poluição da qualidade do ar. Pouco mais de 10% dos resíduos sólidos municipais é composto por resíduos plásticos (sacolas, sacos, copos etc) independente da composição do material, e 40% desses resíduos são queimados (RINKU VERMA; VINODA; PAPIREDDY, 2016).

A aplicação futura do plástico aumenta e seu uso continua a crescer nas economias através do desenvolvimento e criação de produtos e objetos. Sem uma gestão adequada de resíduos, o aumento dos resíduos plásticos aumenta ainda mais o histórico de resíduos plásticos já existentes. Não há um número acordado sobre o tempo que o plástico leva para se degradar, mas pode ser centenas ou milhares de anos, e durante esse tempo, os resíduos causam impactos socioambientais (KERSHAW *et al.*, 2011).

Segundo Arthur *et. al.*, (2009) o crescimento da produção e uso dos plásticos em países que estão em desenvolvimento é uma preocupação atenuantes, pois a sofisticação

da infraestrutura do gerenciamento dos resíduos pode não ser eficiente em uma taxa adequada para lidar com os níveis em que a geração dos resíduos é desenvolvida.

O aumento da temperatura e das condições do ambiente afetam o processo de degradação do plástico em microplásticos secundários ou até mesmo na liberação de substâncias químicas contidos ou transportados em resíduos sólidos. Os microplásticos secundários são compostos e caracterizados a partir da quebra de plásticos maiores (RINKU VERMA; VINODA; PAPIREDDY, 2016).

A Organização das Nações Unidas – ONU (2019) relata que a queima de resíduos sólidos, além de ocasionar forte odor, também causa sensação de sufoco em pessoas que estão próximas à área de queima. Os resíduos, durante a queima, liberam gases tóxicos/toxinas na atmosfera, como mercúrio, dioxinas, furanos e bifenilos policlorados, mais conhecidos como PCB.

Os gases tóxicos quando liberam dioxinas, segundo a ONU (2019), se depositam em vegetações ou quando possível, nos cursos de água, infiltrando em alimentos e, conseqüentemente, na vida do ser humano. As dioxinas são poluentes de origem orgânica e são potencialmente letais, que causam câncer e prejudicam o sistema respiratório humano e a tireoide.

3.5. Poluição e Contaminação dos Recursos Hídricos

A qualidade da água tornou-se uma questão de saúde pública no final do século XIX e início do século XX, devido à compreensão da relação água contaminada e doença. As doenças de veiculação hídrica são caracterizadas principalmente pela ingestão de água contaminada por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, transmitidos basicamente pela rota fecal-oral (CASTRO; CRUVINEL; OLIVEIRA, 2019).

Entende-se por poluição da água a alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem. Essas alterações podem produzir impactos estéticos, fisiológicos – distúrbios em organismos aquáticos causados pela variação de amônia – ou ecológicos. O conceito de poluição da água tem-se tornado cada vez mais amplo em função de maiores exigências com relação à conservação e ao uso racional dos recursos hídricos (PEIXOTO, 2020).

Segundo o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2018) o recurso natural mais extraído do subsolo brasileiro é a água subterrânea. No Brasil, o total de água que é

bombeada para os diversos usos, é oriundo de mais de 2,5 milhões de poços tubulares e chega a superar 17.580 Mm³/ano, numa vazão de 557 m³/s, ou seja, volume que é suficiente para abastecer, anualmente, 217 milhões de pessoas, logo, a eliminação de fontes que ameaçam o recurso ambiental é de fundamental importância.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2022) as fontes principais para poluição e contaminação das águas subterrâneas são os aterros sanitários mal operados, os lixões, acidentes com substâncias químicas e tóxicas, efluentes industriais (metalúrgicas, alimentícias, minerárias) lançados sem tratamento adequado e manuseio inadequado de agrotóxicos, uma vez que utilizados incorretamente podem se infiltrar, por meio da irrigação, no solo e originar fontes dispersas de contaminação.

Ainda de acordo com a CETESB (2022) a presença de nitrato é um indicador de poluição das águas subterrânea e a origem está associada às atividades agrícolas e aos efluentes sanitários. O nitrato é uma forma estável de nitrogênio nas condições anaeróbias e pode ser considerada uma substância persistente e, junto a isso, a remoção de nitrato na água para atender ao padrão potável que é de 10mg/L, tem custo benefício elevado, assim, sendo, às vezes, tecnicamente inviável, logo, prejudicando o abastecimento privado e público.

De acordo com Lima *et. al.*, (2017), sabe-se que alguns dos contaminantes das águas subterrâneas no país são: nitrato, derivados de petróleo (em especial a gasolina e os solventes clorados), metais pesados, vírus e bactérias. No Brasil, estima-se que haja 416 mil poços de águas subterrâneas, com um aumento anual de 10,8 mil novas captações, atendendo a 30-40% da população, devido a essa quantidade de poços de água, que tende a crescer, é de fundamental importância que a qualidade dos recursos hídricos seja preservada.

Oliveira *et. al.*, (2016) afirma em seu estudo que fora realizado na cidade Humaitá, no estado do Amazonas, que devido a influência do lixão, houve alteração e interferência nos parâmetros físico-químicos da qualidade da água. Os padrões de Fe (ferro), P total (fósforo total) e de OD (oxigênio dissolvido) foram os que se apresentaram resultados de acordo com a resolução brasileira que estabelece critérios para qualidade da água, todavia, os resultados obtidos conduziram a um índice de qualidade ambiental (IQA) tecnicamente favorável.

Em um estudo realizado por Silva *et. al.*, (2018) que objetivou analisar a qualidade da água sob a área de influência de um lixão no estado do Pará, foi discutido e afirmado

que as amostras de água analisadas sofreram alterações em suas condições naturais, uma vez que parâmetros como, *e.coli*, alumínio, ferro, dentre outros, acusaram desconformidade com a legislação vigente, assim evidenciando que há influência de derivados (resíduos sólidos e orgânicos) presentes no lixão.

Ainda de acordo com o estudo realizado por Silva *et. al.*, (2018), verificou-se durante o período de chuva a presença de metais pesados nas águas subterrâneas e, portanto, o período chuvoso caracterizou-se, principalmente, no aumento de concentrações dos sedimentos e de metais presentes na água dos poços analisados. Tais metais encontrados na água analisada são oriundos do carreamento da matéria orgânica que, por sua vez, é decorrente do processo de decomposição dos resíduos sólidos e orgânicos.

Em estudo realizado por Pinheiro e Mochel (2018) foram encontrados, no período de estiagem, coliformes termotolerantes em 50% das amostras analisadas e *escherichia coli* em absolutamente todas amostras de água. Já no período chuvoso, as autoras destacam a presença de *escherichia coli* e coliformes termotolerantes em 100% das amostras analisadas, assim evidenciando que o durante o período chuvoso pode ocorrer ainda mais a degradação dos resíduos orgânicos e percolação do chorume de forma mais rápida, a depender da declividade e relevo em que o terreno se encontra. A qualidade da água, portanto, estava comprometida, visto que ambos resultados estiveram em desacordo com a legislação vigente na época do estudo.

Em relação à presença de parâmetros orgânicos e inorgânicos, o estudo de Pinheiro e Mochel (2018) detectou a presença de amônia (NH₃), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), alumínio (Al), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg). Não obstante, as autoras discutem que tais análises não foram suficientes para afirmar que há interferência do lixão que está localizado na cidade de Paço do Lumiar/MA, uma vez que se deve realizar mais estudos na área para que possa ser feita afirmação que o corpo hídrico está sofrendo com a interferência do lixão.

3.6. Poluição e Contaminação do Solo

A deposição de resíduos sólidos em vazadouros a céu aberto é responsável pela degradação sanitária e ambiental de grandes extensões de solo. Os lixões recebem resíduos de diversas origens, desde aqueles de baixa periculosidade, como o lixo domiciliar e comercial até aqueles altamente poluentes, como o lixo industrial e

hospitalar, liberando, portanto, uma infinidade de substâncias orgânicas e inorgânicas que são carreadas pela água para os horizontes profundos do solo, comprometendo a qualidade e o uso desse recurso (MATIAS E SOBRINHO, 2020).

Os metais tóxicos, presentes nos resíduos sólidos urbanos são direcionados para o interior do solo alterando sua qualidade. De um modo geral, podem desencadear problemas de toxicidade aos organismos que estiverem expostos, como plantas, animais e seres humanos, devido ao fato que os mesmos podem ser inseridos na cadeia alimentar e causar biomagnificação, devido à sua mobilidade nos diferentes compartimentos ambientais (MUZAMMIL *et. al.*, 2021).

De acordo com Matias e Sobrinho (2020) a geração descontrolada dos resíduos sólidos em geral, a falta de gestão ambiental eficiente e a disposição inadequada desses resíduos têm acentuado o risco de contaminação e poluição do solo que, conseqüentemente, vem a diminuir a vida útil dos recursos ecossistêmicos. Devido à ausência de uma gestão ambiental correta, surgem diversos impactos no solo, alguns deles são, desaparecimento de vegetação, possíveis erosões, desertificação, aumento na salinidade e desequilíbrio do ecossistema.

Segundo Pinheiro e Mochel (2018), após uma análise realizada em área de influência de um lixão no município de Paço do Lumiar/MA, as autoras encontraram valores elevados nos parâmetros de cádmio, chumbo e zinco em alguns dos pontos de amostras analisados. Assim, com a alteração dos parâmetros analisados foi possível classificar e caracterizar a área de influência do lixão, como área potencialmente contaminada.

De acordo com a Companhia Ambiental de São Paulo – CETESB (2022) a prática da destinação dos resíduos sólidos em solos é algo presente na vida do ser humano de forma histórica. A decomposição da matéria-prima que compõe os resíduos pode ser prejudicial a qualidade do solo, devido a presença de componentes químicos que formam sua estrutura.

Fator associado à contaminação do solo por metais pesados é a capacidade de infertilizar o solo para que a vegetação possa se desenvolver e da continuidade ao equilíbrio ecológico, uma vez que, de acordo com Alcântara *et. al.*, (2011) a presença de metais pesados contaminantes reduz de maneira acentuada a biodiversidade local (fauna e flora).

Uma das problemáticas principais que são encontradas em áreas inadequadas de disposição de resíduos sólidos, é a presença de teor elevado de metais pesados no solo e

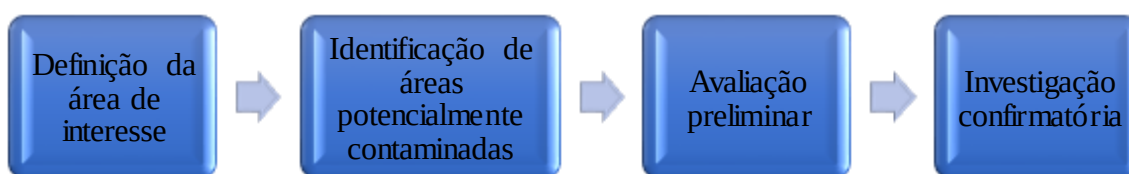
na vegetação. Os metais pesados como cobre (Cu), níquel (Ni), arsênio (As), chumbo (Pb), cromo (Cr), Mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e zinco (Zn) fazem parte de diversos tipos de resíduos, como baterias, pilhas, lâmpadas, dentre outros, que liberam substância tóxicas (CAVALLET; CARVAHO; FORTES NETO, 2013)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Para que os objetivos propostos nessa pesquisa fossem devidamente alcançados, a metodologia seguiu as diretrizes do Manual de Áreas Contaminadas que foi elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) publicado no ano de 2021. O Manual compõe técnicas que visam identificar áreas que possuem os atributos ambientais contaminados, como, principalmente, a água e o solo.

O manual dispõe de técnicas e métodos eficazes na avaliação de áreas degradadas e contaminadas que já foram comprovados cientificamente. Nessa pesquisa foram utilizadas especialmente 04 (quatro) fases que são utilizadas no processo de identificação de áreas contaminadas (ACs), como mostra o fluxograma abaixo.



Devido à disposição inapropriada de resíduos sólidos em solo despreparado para receber materiais contaminantes, se fez necessária uma análise, caracterização e diagnóstico das variáveis ambientais do lixão. As técnicas metodológicas que foram utilizadas para atingir os objetivos dessa pesquisa são oriundas de investigação *in loco*, conhecida também como pesquisa de teor exploratória que se dá por meio de reconhecimento da área, levantamento dos aspectos ambientais e demais informações que são coletadas no campo da área de estudo.

As técnicas e métodos descritas no Manual se deu início na definição da região/área de interesse, em seguida, foi realizada a identificação das áreas que estavam possivelmente contaminadas e, logo após, foi feita a seleção por meio de fotografias aéreas da dimensão do terreno que recebia os resíduos e, por fim, foi realizada a avaliação preliminar, seguida da investigação confirmatória, para então iniciar o procedimentos de definição de pontos amostrais e coletas de amostras das variáveis ambientais estudadas.

De acordo com o Manual, a definição da área de interesse se dá por meio de algum fator antrópico existente que esteja interferindo na qualidade ambiental. Em seguida, e definição da área possivelmente contaminada é realizada por meio de caracterização da

área, delimitando-a e realizando investigação preliminar (se há presença de vetores, biodindicadores de poluição ou contaminação) e, logo após, verificando se a atividade consta na Lista de Atividades Comerciais e Industriais potencialmente contaminadoras ao solo e águas subterrâneas da CETESB.

Em seguida, visando subsidiar uma melhor delimitação da área, foram utilizadas fotografias aéreas para compreender o perímetro da área possivelmente contaminada como, se está próxima a recursos hídricos, área de preservação ambiental ou área de preservação permanente, além de trazer à tona os detalhes histórico da área de estudo.

Na quarta e última etapa, onde é feita a avaliação inicial e investigação confirmatória, foi desenvolvida a etapa do gerenciamento das áreas contaminadas, ou seja, onde foram realizadas investigações e estudos com o objetivo de comprovar a existência da contaminação das áreas por meio de análises ambientais, como, análise da qualidade da água e análise da qualidade do solo e do ar.

4.2. Caracterização da Área de Estudo (Definição da Área de Interesse e Identificação da Área Potencialmente Contaminada)

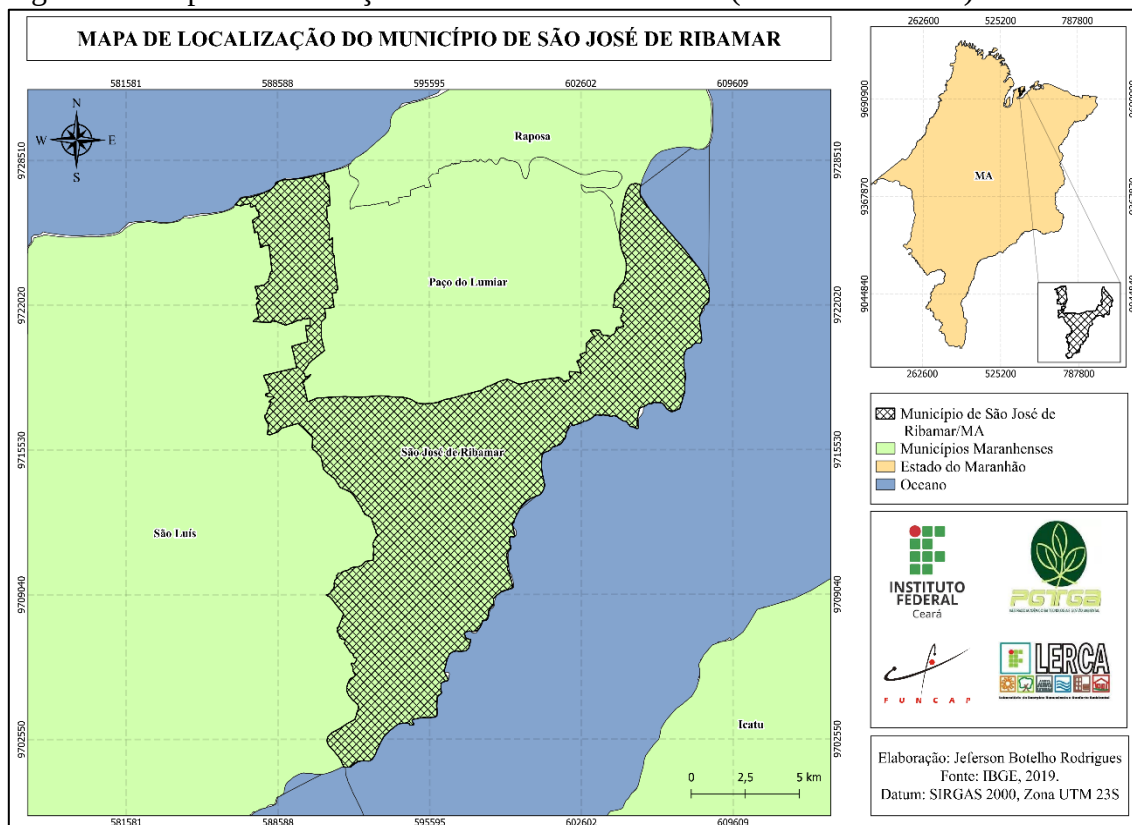
4.2.1. Município de São José de Ribamar/MA e Povoado Timbuba

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021) o município de São José de Ribamar (Figura 2) obteve a sua emancipação em 24 de setembro do ano de 1952. O município está devidamente localizado no estado do Maranhão e compõe os municípios da Região Metropolitana da Ilha de São Luís e fica a 30 quilômetros da capital maranhense.

A sua área territorial corresponde a 180.363km², com uma população estimada em 180.345 habitantes (IBGE, 2021). Referente a densidade demográfica, o município tem 419,82 habitantes/km² (IBGE, 2010), com um PIB de R\$12.007,36 (IBGE, 2019). Devido ao município estar localizado no Golfão Maranhense, a sua hidrografia é formada através das águas das baías de São Marcos e São José.

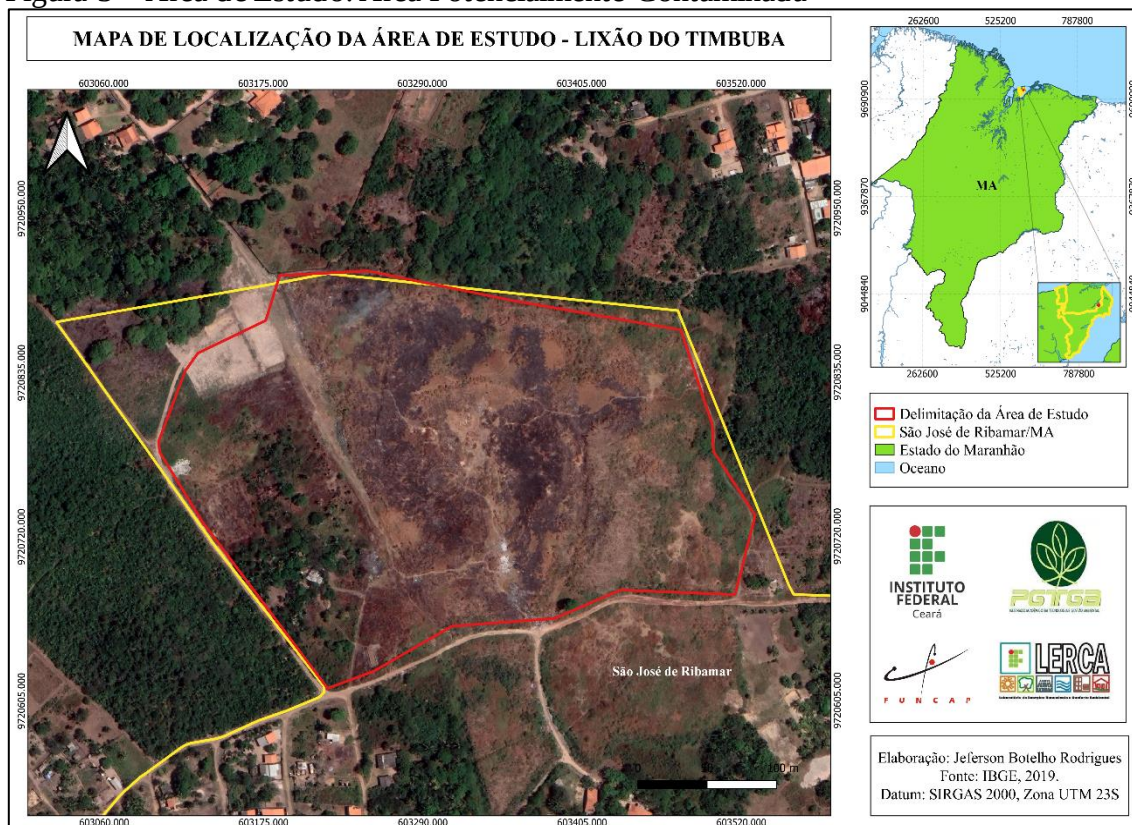
O clima do município de São José de Ribamar, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical chuvoso, com temperatura média anual oscilando em torno de 28°C, tratando-se de uma região quente e semiúmida, com 4 a 5 meses secos (ARAÚJO *et al.*, 2009; IBGE, 2002).

Figura 2 – Mapa de localização de São José de Ribamar (Área de Interesse)



Fonte: Autor, (2022).

Figura 3 – Área de Estudo: Área Potencialmente Contaminada



Fonte: Autor (2022).

Logo, se tem os dois itens do Manual de Áreas Contaminadas devidamente atendidos, quando:

Área de Interesse: Município de São José de Ribamar e, logo, o Povoado Timbuba (Zona Rural);

Junto a determinação da Área de Interesse, logo após se tem:

Identificação da Área Potencialmente Contaminada: O Lixão do Timbuba/Pau-Deitado, que está localizado no Povoado Timbuba. Como mencionado, tal fato se dá devido a área ter recebido elevadas quantidades de resíduos sólidos e, atualmente, não possuir nenhum Plano de Recuperação da Área Degradada/Contaminada.

A comunidade do povoado Timbuba, que faz parte da Área de Interesse do estudo, está localizada na Zona Rural da região do município de São José de Ribamar, estado do Maranhão, sob às margens do Rio Paciência. O lixão (Área Potencialmente Contaminada) está localizado na cidade de São José de Ribamar, como mostra a Figura 3 anteriormente exibida.

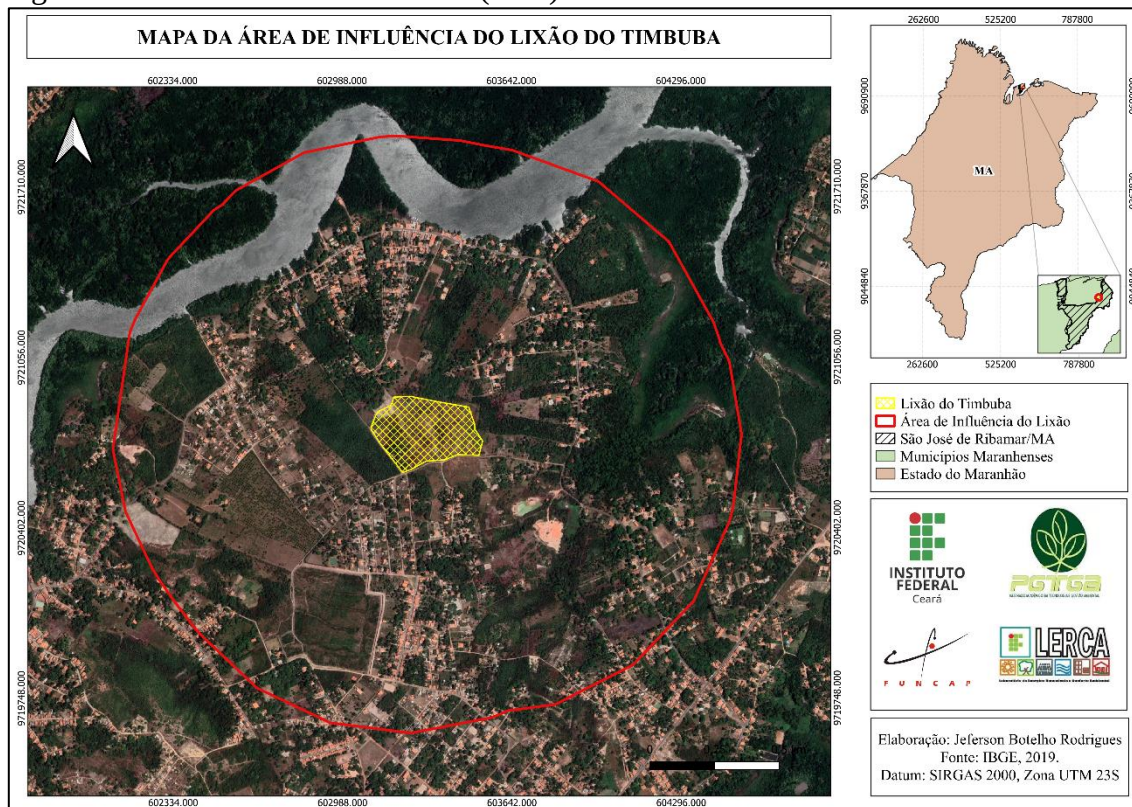
O lixão recebeu durante muitos anos os resíduos sólidos urbanos (resíduos de construção civil, resíduos hospitalares, resíduos orgânicos, dentre outros) do município de Paço do Lumiar/MA, como de São José de Ribamar/MA. De acordo com a ABRELPE (2020), na área do lixão do Timbuba/Pau-Deitado eram depositados cerca de 03 (três) caçambas de resíduos sólidos diariamente, sem qualquer segregação ou gestão ambientalmente adequada.

Para determinação da Área de Influência Direta, se utilizou a metodologia já empregada por pesquisadoras maranhenses que estudaram os impactos ambientais em um lixão da Zona Metropolitana de São Luís/MA. Através de um estudo realizado em Paço do Lumiar/MA por Pinheiro e Mochel (2018) fora definida que a Área de Influência Direta do Lixão do Timbuba compreendesse um raio de 1km, o mesmo raio que as autoras utilizaram durante sua pesquisa no Lixão do Iguaíba e que foi suficiente para a identificação de contaminantes no solo e nas águas subterrâneas e superficiais.

Segundo a Resolução CONAMA nº001 do ano de 1986 as Áreas de Influência Direta são conhecidas e definidas por corresponderem às áreas que sofrerão impactos ambientais no decorrer de atividades antrópicas. Para Menin *et. al.*, (2017) são áreas territoriais onde as interrelações econômicas, culturais, ambientais e sociais podem sofrer diversos impactos ambientais negativos do empreendimento ou atividade que está próximo ou circunvizinha a área, podendo afetar de maneira direta as características ambientais originais.

Na Figura 4 é possível verificar a o *buffer* da Área de Influência Direta (AID) do antigo Lixão do Timbuba/Pau-Deitado.

Figura 4 – Área de Influência Direta (AID) do Lixão do Timbuba



Fonte: Autor (2022).

4.3. Mapeamento da Declividade do Terreno e Fluxo das Águas Superficiais

Para o presente trabalho foram utilizados arquivos matriciais, mais conhecidos como *raster*, que permitem realizar a análise digital da superfície terrestre. Esses arquivos são representados através de sua variação de tonalidades do preto ao branco às referências altimétricas no mesmo. As análises isoladas possibilitam a identificação pontual de altitudes, do cálculo de declividades de encostas ou na integração dos modelos com outros dados, possibilitando a geração de cartas temáticas (ALVARES e HENKES, 2012).

As imagens utilizadas abrangem todo território nacional e encontram-se disponíveis gratuitamente. A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) é responsável por capturar essas imagens e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) refina para melhor aproveitamento. Tais imagens são provenientes do projeto TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE)

e suas derivações locais básicas. No projeto TOPODATA, as imagens SRTM originais passam por processo de *krigagem*, e tem sua resolução modificada de 90 metros para 30 metros, gerando assim o arquivo *raster* com o Modelo Digital de Elevação (MDE).

No primeiro momento foi delimitada a área do lixão por meio de dados vetoriais em formatos de linha, em seguida, tais dados e informações passaram por uma análise feita pelo software *Qgis 3.28*, onde foi importado, por meio de *shapesfiles*, a área delimitada para estudo, assim sendo possível determinar os pontos de coleta de solo, água e analisar a degradação visível da área por geotecnologias, como o *Google Earth (Software livre)*.

Após o georreferenciamento da área de estudo, desenvolveu-se a análise de declividade que ocorreu através da ferramenta '*slope*', onde se utilizou a porcentagem, sendo classificadas das seguintes formas: relevo plano (0 – 3 %), suave ondulado (3 - 8 %), ondulado (8 – 20 %), forte ondulado (20 - 45%), montanhoso (45 - 75%), e escarpado (>75%) conforme (EMBRAPA, 2009), conforme está exibido na Tabela 1.

Tabela 1 - Intervalos de Declividade e respectivas Classes

Intervalo de Declividade	Classe Atribuída
0 a 3	Plano
3 a 8	Suave Ondulado
8 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte Ondulado
45 a 75	Montanhoso

Fonte: EMBRAPA (2009)

No terceiro cenário foi delimitada a percolação do líquido superficial que ainda se tem na área do lixão por meio de dados raster do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM, projetada para UTM SIRGAS 2000 com resolução de 30m obtida na base de dados da *United States Geological Survey* - USGS, processados no software ArcGIS 10.5.

A imagem foi corrigida para possíveis imperfeições utilizando a ferramenta '*Fill*'. O fluxo de escoamento foi gerado utilizando o '*flow direction*' identificando a direção

por pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e colaterais (nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste) em sentido horário.

4.4. Determinação do Índice de Vegetação

Para determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizadas (NDVI) foram utilizadas imagens multiespectrais oriunda de dois satélites: (i) Landsat 8 OLI, com resolução espacial de 30m, baixado pela plataforma Earth Explorer do *United States Geological Survey* (USGS) Bandas 5 (Vermelho) e 6 (Near-infrared). 17/06/2022. (ii) CBERS 4A WPM, com resolução espacial de 8m, obtido na Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Bandas 3 (Vermelho) e 4 (Near-infrared). 06/01/2022.

Logo após, foram realizadas correções atmosféricas e radiométricas para evitar a interferência da refletância dos solos descobertos ou nuvens na interpretação dos resultados do NDVI. As correções foram realizadas a partir dos metadados das imagens *raster*, conforme descrito por Lima *et al.* (2017). A imagem *raster* do NDVI foi convertida em pontos, gerando uma tabela de atributos com o valor de cada pixel atribuído a um ponto, permitindo a interpretação numérica dos resultados. O NDVI foi calculado com a função *Raster Calculator*, através da seguinte fórmula a seguir.

$$NDVI = \frac{Near-infrared - Vermelho}{Near-infrared + Vermelho} \quad \text{Fórmula 01}$$

Foi utilizado o método de Lima *et al.* (2017) para fazer as correções porque a obtenção dos dados é simples, as fórmulas também, o que possibilita realizar as correções atmosféricas, incluindo a radiométrica. No estudo realizado pelos autores foi concluído que essa correção alterou significativamente a qualidade do NDVI baseado nas imagens Landsat. Todas as análises foram realizadas no *software* ArcMap 10.8.1.

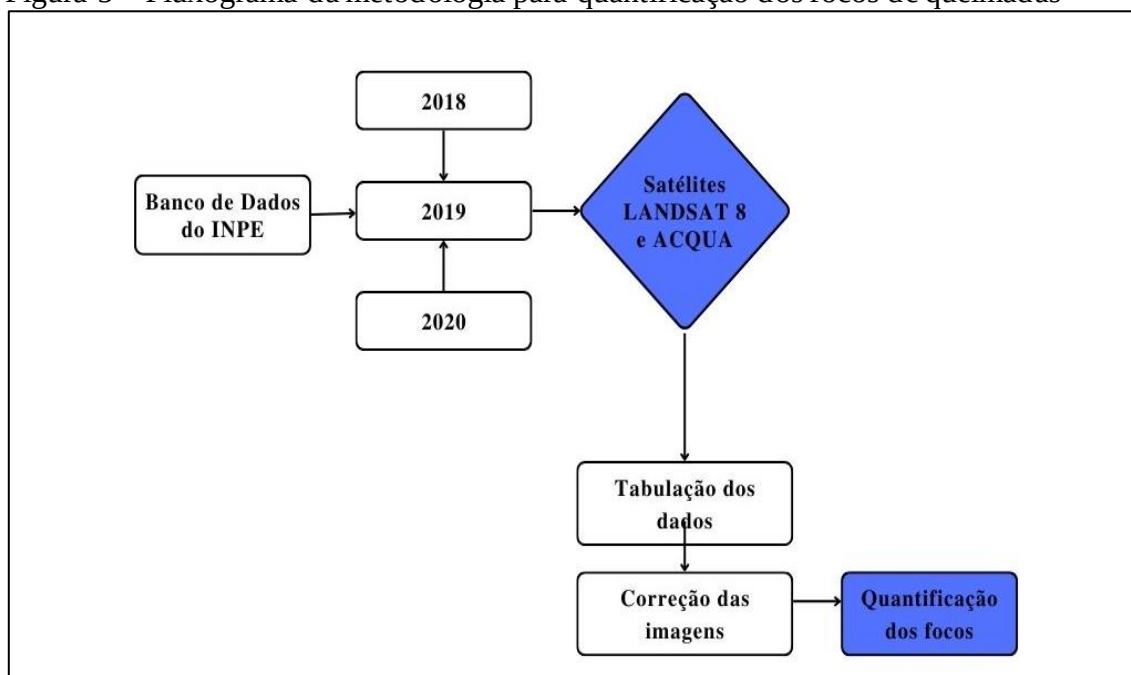
4.5. Quantificação dos Focos de Queimadas

Para a quantificação dos focos de queimadas e elaboração do mapa de calor foram aplicadas técnicas de geoprocessamento do *software* livre QGIS versão 3.26, que foram responsáveis por tratar as imagens espaciais fornecidas pelos satélites Landsat 8 e

satélites Acqua, ambos disponíveis no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) nos anos de 2018, 2019 e 2020.

Inicialmente foi acessado do Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), logo após, foram determinados os satélites e as datas requeridas para obtenção dos dados, neste caso, foram escolhidos os anos já mencionados no parágrafo anterior. Os dados foram exportados, baixados e tabulados para, por fim, serem adicionados ao QGIS para plotagem dos mapas, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma da metodologia para quantificação dos focos de queimadas



Fonte: Autor (2022).

Após a obtenção dos dados em *shapefile*, os mesmos foram tabulados e aplicados no *software QGIS* para que pudesse ser realizada a análise. Em seguida, após a identificação e quantificação dos focos de queimadas, foi realizada a dispersão do calor sobre os focos encontrados no perímetro do lixão e na sua área de influência direta, equivalente a 1km, como estabelecido por Pinheiro e Mochel (2018).

4.5.1. Espacialização da Zona de Calor

Para a elaboração dos Mapas de Calor foi utilizada a metodologia conhecida como “Mapa de Densidade de Kernel”. Segundo Rizzatti *et. al.*, (2020) a densidade de Kernel parte do princípio de quantificar e catalogar as relações de pontos sobre um raio ® de

influência, com base em função estatística, ou seja, a densidade de Kernel analisa os padrões traçados de um determinado conjunto de pontos, neste caso os Focos de Queimadas/Calor, estimando a sua densidade na área em que está sendo objetivo do estudo.

Ainda de acordo com Rizzatti *et al.*, (2020) a estimativa de Kernel visa proporcionar a suavização das probabilidades multivariada ou univariada a partir de um determinado histograma ou de amostras estritamente pontuais. A aplicação da densidade de Kernel parte de dois únicos parâmetros que definem a análise amostral estatística, sendo o raio de influência (R) e a função de estimativa (K).

Baseado na metodologia de Rizzatti *et al.*, (2020) foram aplicados raios de 350m, devido ao tamanho da área ser de pouco mais de 9hectares, configurado na caixa de ferramentas de geoprocessamento “Mapa de Calor”. Em seguida, é selecionada a camada em pontos a ser reprojetada pela ferramenta, para que a estatística da dispersão estabelecida pelo raio plotado seja alcançada, ou seja, 350m do raio de influência sobre o foco de queimada estabelecido.

Logo após, é configurado o tamanho do pixel que irá projetar o raio da densidade de Kernel. Para o tamanho do pixel, Rizzatti *et al.*, (2020) utiliza 0,1m sobre o raio dimensionado, levando em consideração o tamanho do lixão, área objeto dessa dissertação.

Para finalização do Mapa de Calor, logo após a configuração das ferramentas, é processado por meio de algoritmos e linguagem de computação automáticos, que são capazes de determinar a densidade de Kernel e a concentração dos pontos de focos de queimada por meio de *raster*.

4.6. Pontos de Amostragem e Procedimentos de Coleta

4.6.1. Coleta da Água

Para realização da identificação dos poços artesianos que abastecem a comunidade ou parte dela, foram realizadas visitas de campo na área de influência do lixão, mais especificamente com os moradores que residem no entorno da área afetada. Tais visitas foram realizadas exclusivamente para o reconhecimento da área e, consequentemente, para a determinação de pontos amostrais d'água.

A análise e caracterização do ambiente ocorreu em 19/08, 17/09 e 15/10 do ano de 2021 e, logo após, identificou-se que somente um poço artesiano é utilizado para abastecer a população que ainda não possui abastecimento de água potável pela rede distribuidora responsável.

Em seguida, foram realizadas coletas de amostras da água do poço para análises físicas, químicas e biológicas com finalidade de identificar a potabilidade da água consumida pela população. Para o estudo foi realizada uma única coleta da água do poço que é responsável por abastecer parte da população do povoado.

A coleta foi realizada em 03 de julho do ano de 2022, e durante o desempenho da atividade (coleta à análise) se utilizou frascos descontaminados e devidamente lacrados, visto que quando as amostras se destinarem à obtenção de variáveis abióticas, é fundamental que os recipientes estejam, já que se trata de análises bacteriológicas, seguindo estritamente o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB (1997).

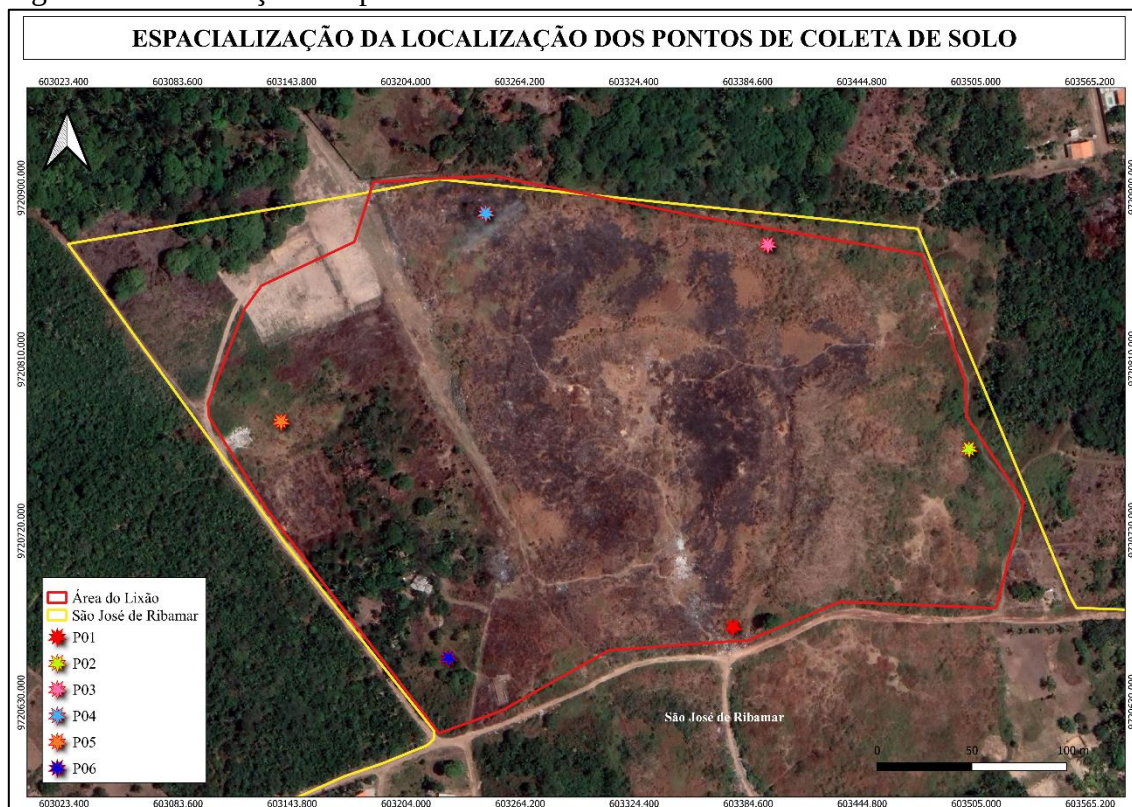
4.6.2. Coleta do Solo

Para a definição dos pontos de coleta de amostra do solo foi utilizada a metodologia aplicada por Pinheiro e Mochel (2018), onde foi selecionada a área do estudo na fase de análise e caracterização do ambiente e, em seguida, determinado os pontos de amostragem no sentido leste, sudeste e sul devido a virtude topográfica do terreno. Diante da metodologia aplicada pelas autoras citadas acima foram definidos 06 (seis) pontos amostrais.

As coletas de amostra do solo foram realizadas em 03 de julho de 2022. A determinação da profundidade da cava do solo foi a mesma aplicada no estudo de Matos (2016), onde foram realizadas cavas cujas profundidades estavam entre 0 a 40 centímetros. Referente à quantidade do peso de cada amostra coleta, também se utilizou a metodologia aplicada por Matos (2016), onde foram coletas 500 gramas de solo de cada ponto estudado.

Na Figura 6, se tem a localização/espacialização exata dos pontos de coleta para amostras da qualidade do solo que fazem parte do perímetro (área total) da área em que fora realizada essa pesquisa.

Figura 6 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo



Fonte: Autor (2022).

Durante a coleta foram utilizados materiais como: trena, sacos estéreis, pás e enxada e com o auxílio dos materiais foi possível realizar uma cava entre 0 a 40 centímetros de profundidade dos pontos amostrais (MATOS, 2016). Em determinados pontos, realizou-se a cava de até 30cm, devido a área possuir resíduos sólidos enterrados.

Os procedimentos amostrais para coleta, preservação e análise das amostras de solo foram realizados a partir do Manual de Áreas Contaminadas da CETESB/GTZ (2021), mais especificamente utilizando os critérios estabelecidos pela norma conhecida como ISO/DIS 10381-1.

Na Tabela 2, logo abaixo, se tem a denominação dos pontos e respectivas coordenadas geográficas de localização, ambas no formato de graus, minutos e segundos (° ‘ ‘')

Tabela 2 – Características dos pontos de coleta de solo

Denominação dos Pontos	Coordenadas Geográficas
P01	2°31'36.63"S 44° 4'12.44"O
P02	2°31'33.59"S 44° 4'8.41"O
P03	2°31'30.10"S 44° 4'11.85"O

P04	2°31'29.56"S 44° 4'16.67"O
P05	2°31'33.12"S 44° 4'20.17"O
P06	2°31'37.16"S 44° 4'17.31"O

Fonte: Autor (2022).

Visto que a área ainda não possui nenhum tipo de método para recuperação/restauração, em alguns pontos amostrais pode não ser possível obter a profundidade de 40 centímetros devido a área de estudo ainda possuir resíduos sólidos enterrados, o que dificulta o processo de cava até a profundidade desejada, todavia, pode-se obter êxito nas técnicas de coleta e armazenamento das amostras numa profundidade entre a estabelecida.

4.7. Processamento das Amostras

4.7.1. Análise da Água

As amostras de água coletadas foram analisadas em relação a alguns parâmetros de aceitação e potabilidade, conforme diretrizes da Portaria da Potabilidade N° GM/MS – 888/2021, que alterou o Anexo XX da Portaria da Consolidação N° 05/2017, do Ministério da Saúde. As análises foram realizadas no Laboratório de Química da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e no Laboratório Cernitas, ambos situados na cidade de São Luís/MA.

A definição dos parâmetros de análise se deu por meio de consulta à legislação vigente, como mostra a Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Parâmetros analisados na qualidade da água

Parâmetros	Unidades de Medida	Metodologia
Alumínio	mg/L	EPA – 6020A
Amônia	mg	SMEWW 23ª Ed 2017 Método 2540D e 2540B
Bário	mg/L	EPA – 6020A
Cádmio	mg/L	SMWW, 23ª Ed, Método: 3111 D

Chumbo	mg/L	EPA 6010 D:2018
Cloreto	mg/L	SMEWW 23ª Ed 2017 Método 4500- Cl E
Cobre	mg/L	EPA - 6020A
Coliformes totais	NMP/mL	SMEWW, 23ª edição, 2017, Método 9221 B, C, E. 23nd.ed. 2017
Cor verdadeira	Pt/Co	SMWW, 23ª Edição, Método 2120C
Cromo	mg/L	SMWW, 23ª Ed, Método: 3111 B
DBO	mg/L	SMEWW 23ª Ed 2017 Método 5210 B
DQO	mg/L	SMEWW 5220 D 23ª edição
<i>Escherichia coli</i>	NMP/mL	SMEWW 9221 B, C, E - 23ª edição, 2017
Ferro	mg/L	SMWW, 23ª Edição, Método 3500-Fe B
Fluoreno	mg/L	EPA 8270 E:2018
Fósforo total	mg/L	SMEWW 4500-P C 23ª edição
Manganês	mg/L	EPA – 6020A
Mercúrio	mg/L	EPA – 6020A
Níquel	mg/L	SMWW, 23ª Ed, Método: 3111 B
Nitrogênio amoniacal	mg/L	SMEWW 4500-N C 23ª edição
Oxigênio dissolvido	mg/L	SMEWW 4500-0 B/C 23ª edição
pH	-	SMEWW 4500-0 B/C 23ª edição
Selênio	mg/L	EPA - 6020A
Turbidez	NTU	SMEWW 2130 B 23ª edição
Urânio	mg/L	EPA - 6020A
Zinco	mg/L	SMEWW 2130 B 23ª edição

Fonte: Autor (2022).

Ressalta-se que a determinação dos parâmetros de qualidade da água, utilizados para o desenvolvimento dessa pesquisa de mestrado, envolve os físicos, químicos e microbiológicos e, ambos, estão descritos na Portaria nº 88/2021 elaborada pelo Ministério da Saúde.

4.7.2. Análise do Solo

As amostras de solo foram analisadas em relação aos principais parâmetros que estão dispostos na Tabela 4 e que podem ser consultados na Resolução CONAMA N° 420/2009, além disso, foram feitas análises do grupo de macronutrientes das amostras de solo. As análises ocorreram no Laboratório de Química dos Solos da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA (Departamento de Engenharia Agrícola) e no Laboratório Cernitas, ambos localizados na cidade de São Luís/MA.

Tabela 4 – Parâmetros de análise do solo

Parâmetro	Unidade de Medida	Metodologia
Boro	mg/kg	SMEWW 3030E 23ª edição
Cádmio	mg/kg	SMEWW 3030E 23ª edição
Chumbo	mg/kg	SMEWW 3030E 23ª edição
Cobre	mg/kg	SMEWW 3500 Cu 23ª edição
Cromo	mg/kg	SMEWW 3500 Cr B 23ª edição
Ferro	mg/kg	USEPA 6010C ver.03:2007
Manganês	mg/kg	USEPA 6010C ver.03:2007
Mercurio	mg/kg	IT 06-07.231
Níquel	mg/kg	USEPA 6010 C
Zinco	mg/kg	USEPA 6010C ver.03:2007

Fonte: Autor (2022).

Para complementação das análises do solo, foram realizadas análises físicas das propriedades das amostras de solo na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), no Laboratório de Física do Solo. As análises fazem parte da última etapa do Manual de Áreas Contaminadas da CETESB, sendo a etapa de “Investigação Confirmatória”, que visa identificar substâncias nocivas ao meio ambiente e à saúde da população

Abaixo na Tabela 5 se encontram os demais parâmetros de solo que foram analisados.

Tabela 5 – Parâmetros físicos de análise do solo

Parâmetros
Granulometria
Textura

Densidade
Porosidade

Fonte: Autor (2022).

Para análise dos parâmetros físicos (densidade, textura, granulometria e porosidade) passaram, inicialmente, pelo processo de peneiramento, onde foram retirados “pedregulhos” considerados insignificantes para a realização das análises e processamento das amostras.

Em seguida, foi utilizado como base para análise dos parâmetros mencionados, o Manual de Métodos de Análise do Solo elaborado pela EMBRAPA (2017). Para análise de Granulometria, Textura, Densidade e Porosidade, aplicaram-se as técnicas descritas nos itens do capítulo 07, capítulo 09, capítulo 10 e 11, respectivamente. Ressalta-se que as amostras foram entregues à Coordenação do Laboratório de Física do Solo para que as análises fossem realizadas e, logo, feito o diagnóstico da área.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados referentes aos objetivos propostos nesta Dissertação de Mestrado. Junto aos resultados, neste tópico ainda, serão apresentadas as discussões pertinentes aos resultados encontrados sobre as características da área de estudo.

5.1. Aspectos Fisiográficos da Área de Estudo

5.1.1. Declividade da Área do Lixão

Inicialmente, por meio da análise da declividade do terreno em que os resíduos sólidos foram dispostos durante anos, observou-se que no perímetro da área de estudo há os seguintes tipos de relevo: relevo plano, relevo suave ondulado, relevo ondulado e relevo com forte ondulação, que possuem variabilidade de declividade entre 0 a 3%, 3 a 8%, 8 a 20% e 20 a 45%, respectivamente.

Verifica-se ainda, por meio da análise de declividade do terreno da área de estudo, na Figura 7, que há predominância de dois tipos de relevo: o relevo plano e o relevo ondulado, com cota de declividade de 0 a 3 % e 3 a 8%. Destaca-se que, ambas declividades, encontradas no perímetro da área de estudo facilitam a percolação do chorume e de águas decorrentes das chuvas, levando, além da poluição, a contaminação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

Para Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013), a declividade de uma área é um dos principais atributos que influencia na distribuição do solo, na dinâmica das paisagens e na percolação de líquidos superficiais. De acordo com Santos e Zaroni (2017) a declividade entre 0 a 3% de um terreno proporciona aos líquidos (águas das chuvas e chorume) uma percolação, mesmo que temporária, sobre o solo.

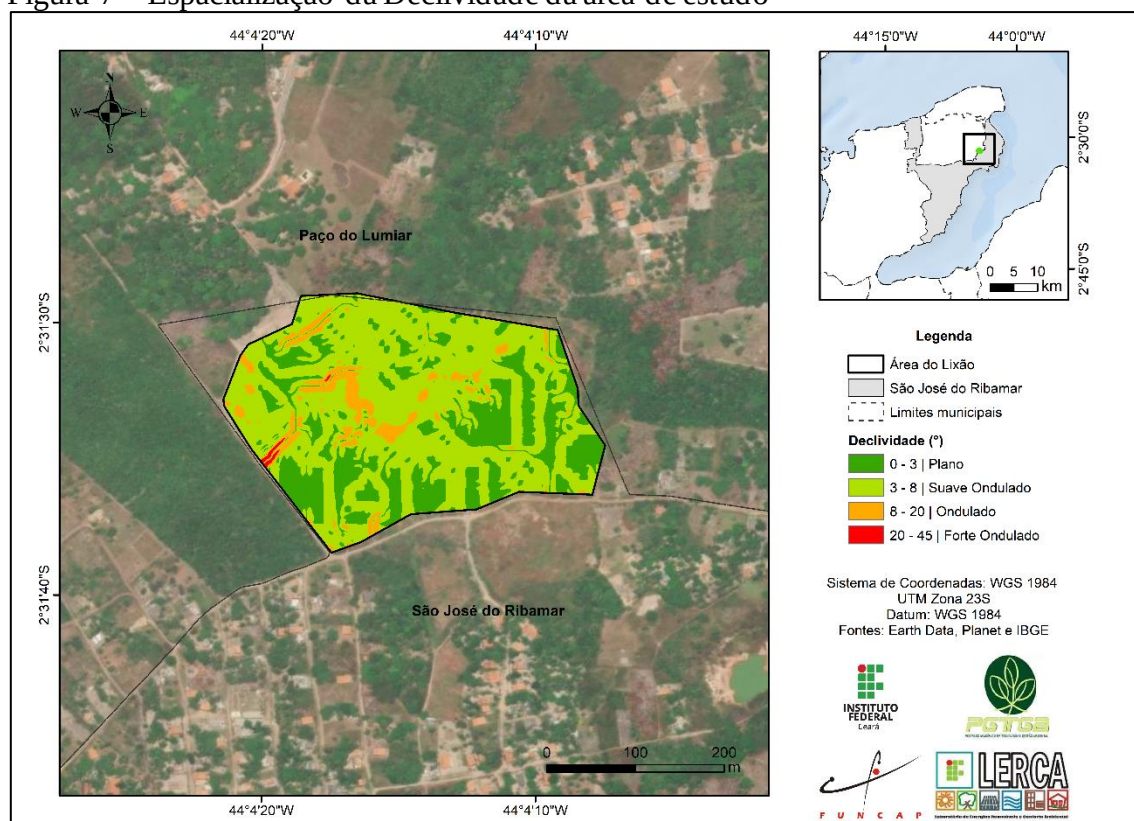
Todavia, a percolação dos líquidos pode ser fator agravante para a alteração nos parâmetros da qualidade da água e solo, visto o líquido lixiviado tende a percolar em direção ao lençol freático, causando impactos ambientais e alteração na qualidade da saúde populacional que faz uso do recurso hídrico subterrâneo.

Em estudo realizado por Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013) os aspectos que compõem a declividade têm sido considerados uma das mais importantes

características topográficas que controlam os diversos processos pedogenéticos, ou seja, alteram as características físicas, químicas e biológicas do solo.

Em se tratando das características definidas da declividade na área de estudo, é evidente, de acordo com Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013) que há processos pedogenéticos no solo, devido à presença de diferentes declividades no terreno, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Espacialização da Declividade da área de estudo



Fonte: Autor (2022).

Tais alterações no solo afetam diretamente a velocidade o fluxo da água superficial e subsuperficial e, consequentemente, o teor de água no solo, afeta ainda o potencial de surgimento de erosão e outros processos importantes.

A área de estudo também possui uma parcela de seu terreno com a declividade entre 3 a 8%, como pode ser visto na Figura 7. Ambos relevos e declividades, tendem a direcionar os líquidos superficiais e subterrâneos até os lençóis freáticos ou a outros leitos hídricos que armazenam água.

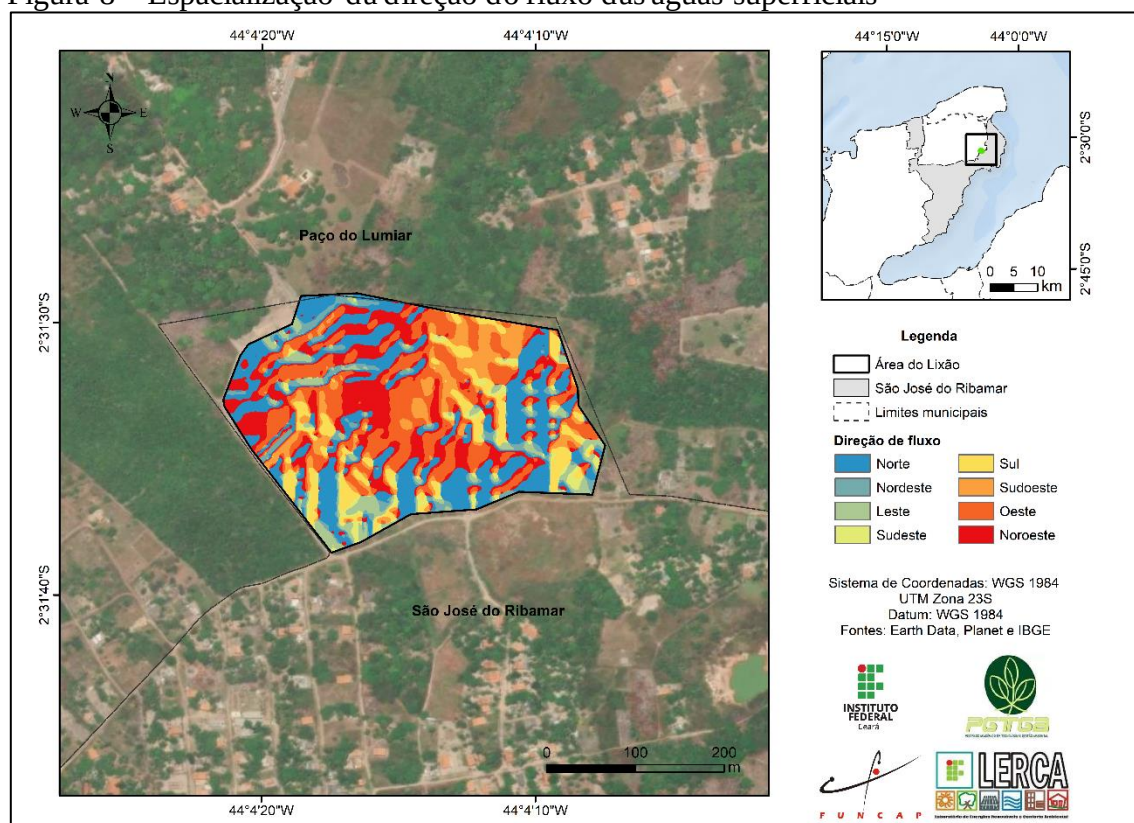
Hamada e Calças (2004) afirmam que as localidades que possuem seu relevo Plano e Suave Ondulado, por mais que não sejam íngremes, são capazes de ocasionar movimento subterrâneo das águas através do solo, provocando a infiltração de líquidos

superficiais, inclusive o chorume e ocasionando contaminação dos recursos ambientais disponíveis.

5.1.2. Fluxo das Águas Superficiais

Após a determinação da declividade do terreno estudado foi realizada a definição da direção das águas superficiais que percolam a área do lixão. Logo abaixo na Figura 8 é possível verificar que a direção do fluxo da água ocorre nas direções: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste. No entanto, as direções que mais se destacam em relação ao escoamento superficial das águas são: Leste, Sudeste e Sul, onde os pontos de coletas para análises dos solos foram determinados, visto que nesses sentidos há maior concentração de percolação da água e possivelmente infiltração de chorume no solo.

Figura 8 – Espacialização da direção do fluxo das águas superficiais



Fonte: Autor (2022).

A determinação das direções do fluxo de águas superficiais é importante principalmente para a modelagem hidrológica durante sua ida até alguma bacia hidrográfica próxima da área (JARDIM, 2017). Como observa-se na Figura 8, acima,

estas direções obtidas servem para simular e verificar o caminho que os líquidos, presentes na área, realizam até chegar em alguma rede de drenagem ou corpo hídrico receptor mais próximo.

Através do mapa das direções do fluxo de águas, acima, é possível identificar que as regiões Norte, Oeste, Noroeste e Sul, possuem a predominância em relação à direção do fluxo, respectivamente. Há presença de outras regiões sobre a direção do fluxo, contudo, em menores concentrações das que foram escolhidas para realização da análise de solo.

Corroborando Hamada e Calças (2004), os autores Gallant e Wilson (2000) afirmam que as áreas com relevos planos (0 a 3%) favorecem e facilitam o acúmulo de água no solo, visto que a curvatura do terreno estudado, que faz controle do fluxo superficial de água no solo, é o fator determinante na infiltração de líquidos superficiais.

Devido o terreno da área estudada possuir declividade com relevo plano, além da presença de entulhos/resíduos sólidos enterrados, a facilidade do acúmulo de água nas regiões citadas na figura acima é devidamente acentuada, uma vez que não há movimento dos líquidos superficiais até os corpos hídricos receptores (poços tubulares, rios, riachos, poços artesianos).

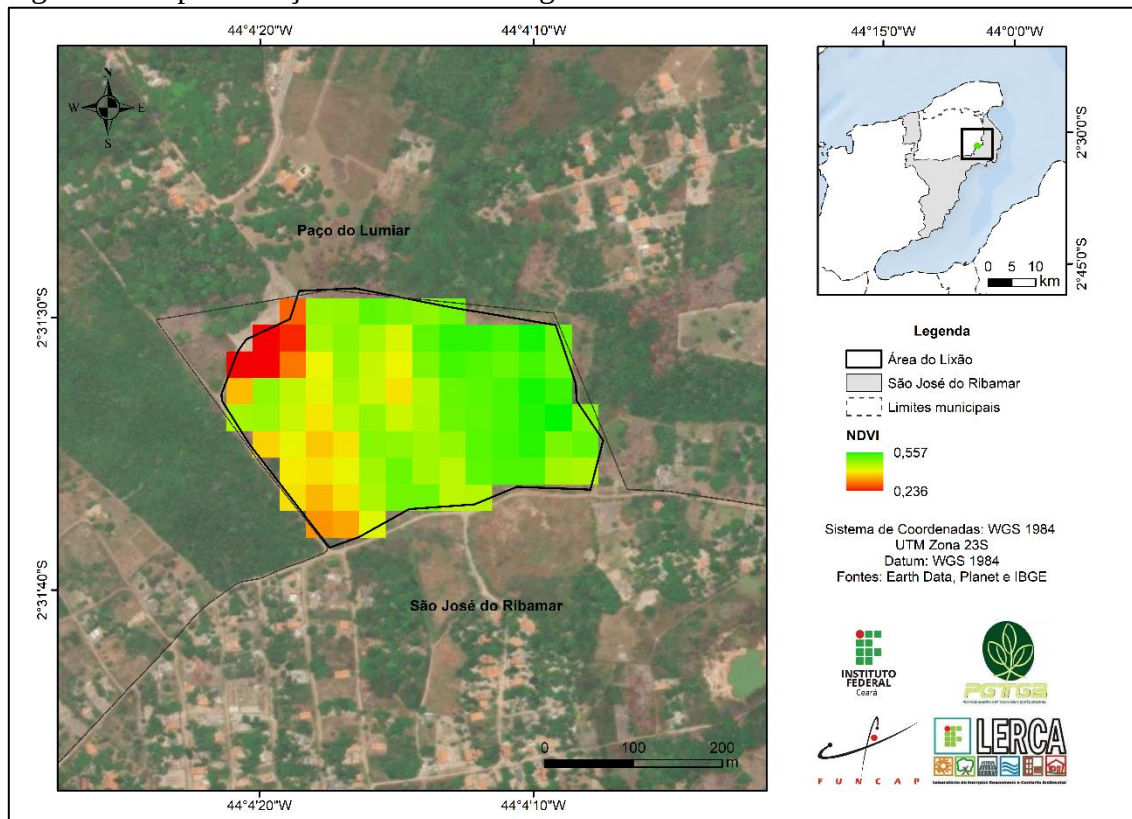
Diante dos resultados referentes ao fluxo de água, observa-se que junto com o fluxo de água pode haver degradação da matéria-prima dos resíduos sólidos e, junto, o acúmulo de água em pontos específicos. Consoante ao acúmulo de líquidos superficiais o solo se encontra vulnerável à infiltração de água contaminada que é capaz de alterar as características originais do recurso ambiental.

5.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A determinação das classes de vegetação presente na área de estudo, lixão do Timbuba/Pau-Deitado, resultou em variações da presença de vegetação no perímetro do terreno, permitindo assim, a formulação do Índice de Cobertura Vegetal. O referido índice é referente ao ano de 2022, dando preferência para a imagem de satélite disponível mais recente, no caso, do mês de junho do ano mencionado.

Abaixo na Figura 9 tem-se a espacialização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Diante da imagem é possível verificar a classificação em que predomina a vegetação do ambiente estudado.

Figura 9 – Espacialização da cobertura vegetal da área de estudo no ano de 2022



Fonte: Autor (2022).

Nota-se, na Figura 9 acima, que há locais onde há presença de vegetação (representada pela cor verde), no entanto, verifica-se que há áreas onde a vegetação é moderada (tons amarelos) e espaços onde a vegetação se torna escassa (pixels vermelhos), até o presente momento de análise da cobertura de vegetação. Verifica-se ainda, que embora o lixão tenha presença de resíduos sólidos no interior do solo, a presença de vegetação, todavia, para melhor interpretação dos dados obtidos, se aplicou os valores de referência para classificação de NDVI.

De acordo com Zanzarini *et. al.*, (2013) há casos onde os valores de Índice de Vegetação que estão entre 0,01 a 0,20 correspondem para as áreas que estejam com escassez de vegetação. Autores destacam que valores que estejam entre variabilidade de 0,41 e 0,60 tendem a possuir vegetação moderada e locais onde apresentam NDVI entre 0,61 a 0,80 possuem vegetação moderadamente alta e, acima de 0,81, são consideradas áreas que indicam elevada densidade de clorofila, logo, folhas verdes (AQUINO *et. al.*, 2016).

Abaixo na Tabela 06 mostra os valores de referência que definem o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).

Tabela 6 – Determinação do NDVI

Índice de Vegetação	Classificação
0,01 a 0,20	Baixa
0,21 a 0,40	Moderadamente baixa
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Moderadamente alta
> 0,81	Alta

Fonte: Aquino *et. al.*, (2016).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área do antigo lixão, visualmente, está predominante à vegetação moderada. Todavia, para melhor interpretação dos dados, foi aplicada estatística multivariada, onde foi possível compreender o índice de cobertura vegetal do perímetro do lixão, por meio da média, desvio padrão e o coeficiente de variação.

Abaixo se tem a Tabela 7 que mostra as variáveis estatísticas utilizadas para validação dos resultados.

Tabela 7 – Dados estatísticos da análise do NDVI

Parâmetro Estatístico	Valor
Média	0,488
Desvio Padrão	0,057
Coeficiente de Variação	11,807 %

Fonte: Autor (2022).

Durante a tabulação dos dados referentes à tabela de atributos do índice de vegetação da área, a classe de NDVI que foi analisada na imagem obtida do Satélite Landsat (precisão de 30 metros) apresentou amplitude entre os valores de 0,286 a 0,543 referente a variabilidade da espacialização dos pixels que compuseram o mapa de interpretação, para tal, obteve-se uma média acima de 0,40.

A média calculada dos pixels que compõem o mapa de NDVI (Figura 9) do perímetro da área de estudo, Lixão do Timbuba/Pau-Deitado, foi de 0,488. Como discutido por Souza, Gonzales e Teixeira Filho (2019) valores que estejam entre 0,40 e 0,60 (Tabela 7) são considerados para áreas que possuem o índice de cobertura vegetal moderada.

Em áreas de lixão, onde o solo é possivelmente degradado e contaminado, a presença de vegetação densa (alta) é quase extinta, fato este que pode ser afirmado através da análise de NDVI da área. O fato de que, tecnicamente a área do antigo lixão não recebe resíduos há mais de 03 (três) anos está associada ao surgimento da presença de vegetação moderada.

Referente ao desvio padrão da análise do índice de cobertura vegetal da área do lixão, se obteve um desvio de 0,057, que é considerado baixo e quase inexistente, uma vez que está próximo de zero. Diante do resultado do desvio padrão pode-se compreender e afirmar que são homogêneos os valores referentes aos pixels que compõem o mapa de NDVI.

Quanto o resultado para o coeficiente de variação, tem-se 11,807% e, portanto, apresentaram uma baixa variabilidade, de acordo com a classificação realizada por Cambardella *et. al.*, (1994). Compreende-se ainda que a variação referente aos dados de NDVI tem pouca dispersão, refletindo assim, na exatidão da interpretação e determinação do nível que o índice de vegetação da área possui, neste caso, classificada uma vegetação moderada.

Para Passos (2021) o Índice de Vegetação está diretamente relacionado para a capacidade de absorção de energia das plantas (fotossíntese) e permite a análise da cobertura vegetal, desde a inexistência à presença densa de vegetação. A ausência de vegetação está relacionada às características físicas e químicas das áreas, como por exemplos, os nutrientes que o solo dispõe à vegetação (SOUZA, GONZALES E TEIXEIRA FILHO, 2019) e, uma vez que há poluição e contaminação de áreas, o solo da área não proporciona os nutrientes fundamentais para o desenvolvimento da vegetação (SANTOS E OLIVEIRA, 2015).

A área estudada atualmente há presença de vegetação, no entanto, como a área se visivelmente degradada, a vegetação pode ser caracterizada como bioindicador de contaminação da área. Em um diagnóstico de uma área de lixão já encerrado, realizado por Azevedo *et. al.*, (2015) foi identificada a presença de extensas erosões no solo e, logo, ausência de vegetação devido à alta concentração de contaminantes no solo.

Em geral, a cobertura vegetal da área do antigo lixão é classificada como moderada, de acordo com a classificação de Aquino *et. al.*, (2016). A classe de vegetação moderada da área de estudo, compreende-se em vegetações que estão em processo de desenvolvimento e que apresentam características moderadas de clorofila no seu processo de formação.

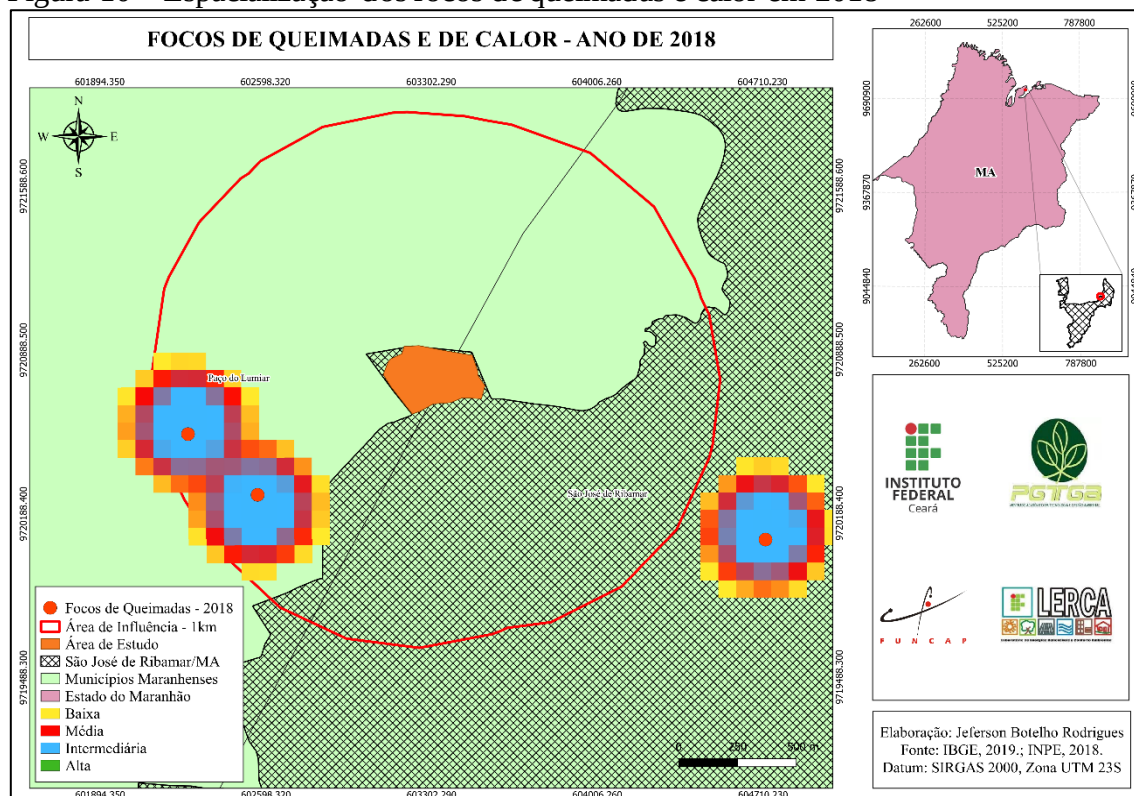
5.3. Quantificação dos Focos de Queimadas e Espacialização da Densidade de Calor

A quantificação de queimadas para o ano 2018 foi realizada para identificar os focos de queimas que ocorreram um ano antes do encerramento da área do lixão do Timbuba/Pau-Deitado. Após os resultados adquiridos, verificou-se que os focos de queimadas registrados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais foram de 02 (dois) focos de queimadas que estavam sob o perímetro da área de influência direta do ambiente estudado.

De acordo com os estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022) os focos de queimadas no Brasil estão presentes todos os anos. Em uma análise espacial, verificou-se que no ano de 2004 ocorreu mais queimadas e incêndios e nos anos posteriores, 2005 e 2006, foram marcados por diminuição dos focos.

Abaixo na Figura 10 tem-se a ilustração do mapa dos focos de queimadas referente ao ano de 2018 (quando o lixão ainda estava recebendo resíduos sólidos) e a área que compreende a dispersão da densidade do calor que é oriunda do foco central da queima.

Figura 10 – Espacialização dos focos de queimadas e calor em 2018



Fonte: Autor (2022).

Verifica-se na Figura 10 acima que a espacialização da densidade de calor encontrada sobre o raio dos focos de queimadas são: intermediária, média e baixa. É evidente, de acordo com a Figura 10, que quanto mais próximo do núcleo central, maior será a intensidade da densidade de calor.

Os focos de queimadas e a dispersão de calor que se encontram identificados dentro do perímetro da área de influência direta do lixão, atingem, além dos atributos ambientais, o bem-estar da população que está habitada na circunvizinhança da área estudada.

A presença das práticas de queimadas no ano de 2018 na área de estudo determina que há presença de queimas de lixo (anexo) no perímetro da área. Os dois focos de queimadas detectados no ano de 2018 possuem uma dispersão em um raio de 375m, que evidencia que a densidade que o foco possui está associada à perda de atributos ambientais locais.

Segundo Clemente, Oliveira Júnior e Louzada (2017) em um estudo realizado para identificar focos de calor na Mata Atlântica do Rio de Janeiro, os focos de queimadas podem ocasionar a extinção dos aspectos ambientais originais, uma vez que a densidade do calor é capaz de destruir os biomas e ecossistemas, ocasionando a perda da fauna e flora, além de trazer modificações à climatologia do local, como: alteração de umidade e temperatura.

Abaixo na Figura 11 é possível verificar a quantidade de focos de queimadas que foram detectados nos anos de 2019 (ano de encerramento oficial do lixão). Verifica-se que há presença de focos de queimadas na área de influência direta do lixão do Timbuba/Pau-Deitado, o que determina que houve presença de queimas irregulares.

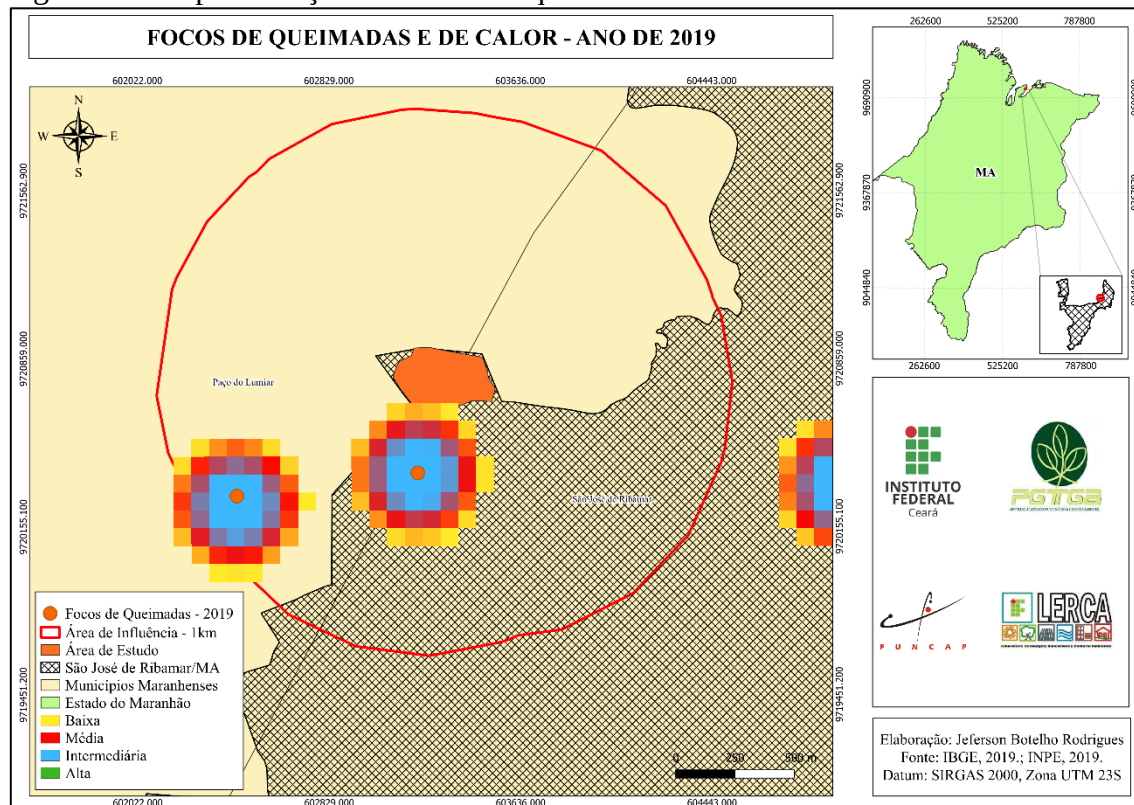
Foram quantificados 02 (dois) focos de queimadas na área mencionada, porém, ambos focos com mais proximidade do perímetro do lixão, em comparação ao ano de 2018. Nota-se diante a Figura 11 que embora 2019 tenha sido o ano de encerramento oficial do lixão, há presença de queimas dentro da área de influência (Anexo).

O Jornal Imirante (2019) esclarece que a área do lixão foi suspensa no ano de 2019, como destacada na data da matéria publicada. Junto a isso, o Ministério Público Estadual determinou que houvesse a elaboração de Plano de Recuperação de Áreas Degradadas que fosse apresentado à Justiça do Maranhão.

Devido a gestão inadequada do manejo e destinação final dos resíduos sólidos do município de São José de Ribamar, as práticas de queimadas, mesmo no ano de

paralisação de recebimento dos resíduos, ainda foram detectadas por meio dos satélites do INPE.

Figura 11 – Espacialização dos focos de queimadas e calor em 2019



Fonte: Autor (2022).

As queimadas que foram detectadas no ano de 2019 na área de influência direta do lixão, por estarem mais próximas ao perímetro da área estudada, podem afetar ainda mais a qualidade dos fatores ambientais. Nota-se que um foco de queimada ocupa pequena parte da área que corresponde o lixão, mesmo que seja numa densidade considerada baixa, pelo método de Kernel.

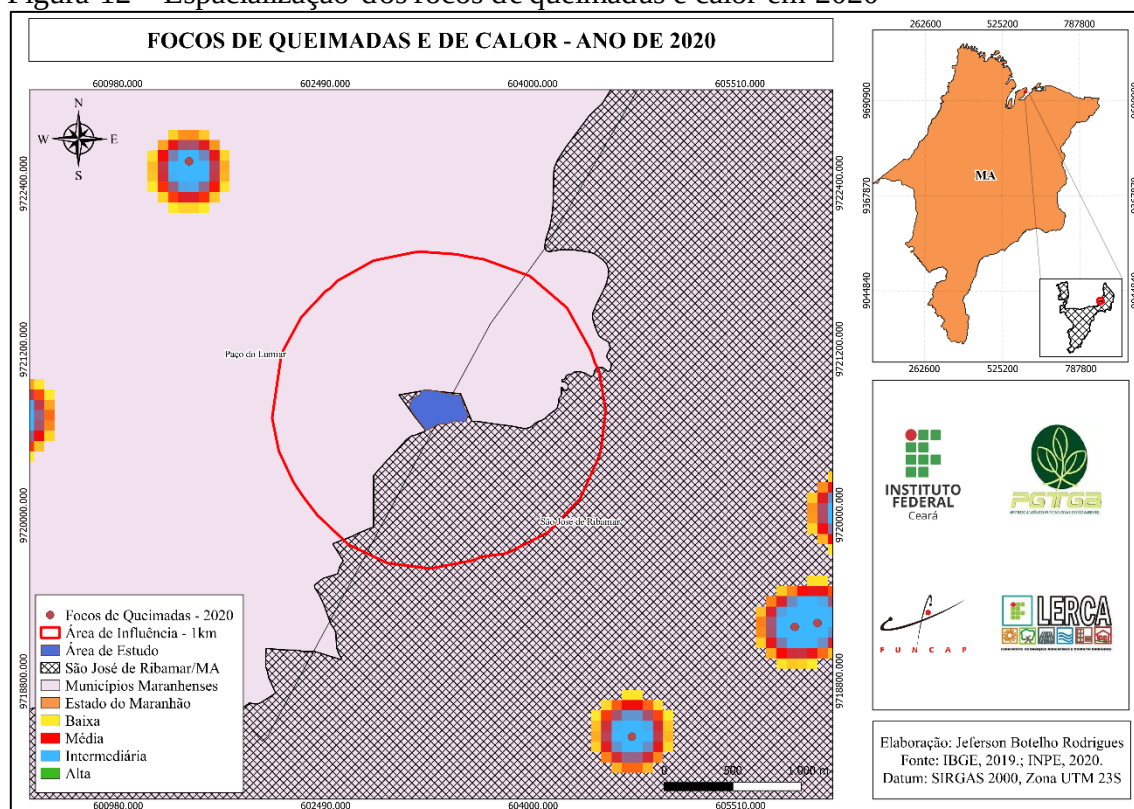
É possível observar também que no raio que foi estabelecido para analisar a dispersão de calor, se tem uma densidade baixa, média e intermediária. Ambas densidades são compostas pelo grau (°) de temperatura que os focos de calor transmitem após a captura dos sensores.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2022) as queimadas causam empobrecimento do solo, são responsáveis por reduzir a penetração da água no subsolo e, em diversos casos, podem causar mortes, além de ocasionar a perda de propriedades da população.

O INPE (2022) destaca que os focos de queimadas (*fire pixels*) causam também poluição na atmosfera e ocasiona prejuízos à saúde de inúmeras pessoas (CARMO E HACON, 2013), além de prejudicar à atividade de aviação. Em ponto de vista global as queimadas estão relacionadas com a modificações climáticas (composição química da atmosfera), sendo: alteração do clima, temperatura, ventos e do ar.

Referente ao número de focos de queimadas no ano de 2020, dentro da área do lixão e no perímetro da área de influência, não foram detectados focos de queimadas no ano seguinte ao ano oficial de encerramento. Abaixo na Figura 12 é possível verificar a localização dos focos de queimadas e, junto, observar que os mesmos não se fazem presente na área de interesse.

Figura 12 – Espacialização dos focos de queimadas e calor em 2020



Fonte: Autor (2022).

O ano de 2020 sucede ao ano em que o lixão foi oficialmente encerrado, o que determina que a presença de resíduos sólidos tecnicamente não deve ocorrer na referida área. Expõe-se que dentro da área de influência direta, ocorreram práticas de queimadas por parte dos moradores que circunvizinhavam a área sem seleção de local para o ato de queima, logo, a combustão dos resíduos e demais atributos, ocorriam em qualquer local e horário.

Ressalta-se que os focos de queima e calor não são detectados por satélites se possuírem as seguintes características da Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 – Impeditivos para detecção de queimadas
Frentes de fogo inferior a 30m

Fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores;
Nuvens cobrindo a região (atenção - nuvens de fumaça não atrapalham!);
Queimada de pequena duração, ocorrendo entre o horário das imagens disponíveis;
Fogo em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado;
Imprecisão na localização do foco de queima, que no melhor caso é de cerca de 375m, mas chegando a 6km.

Fonte: INPE (2022).

É possível discutir que embora os satélites possuam requisitos mínimos para capturar imagens dos focos de calor, há outros pontos de queimadas na área estudada, pontos esses que devido suas características não são diagnosticados pelos satélites orbitais. No entanto, essas “pequenas” queimadas podem ocasionar efeitos nocivos tanto ao meio ambiente quanto à saúde da população, porém, em proporções consideradas menores. Segundo Leão, Ferreira e Strauch (2020) a aquisição dos focos de calor e incêndio ocorrem em determinado local devido o mesmo possuir características específicas de calor dentre os “parâmetros” que os satélites são capazes de capturar as imagens.

Diante dos três levantamentos realizados para quantificação das queimadas (um ano antes do encerramento do lixão (2018), no ano de encerramento do lixão (2019) e após o encerramento das atividades do lixão (2020), verificou-se que a incidência e ocorrência de queimadas diminuíram quando comparadas aos anos que foram detectados focos.

No ano de 2018 e 2019 notou-se a presença de dois focos em cada ano e, em seguida, no ano de 2020, verificou-se que não foram detectados quaisquer focos de calor, sendo possível afirmar que as queimadas intensas cessaram após o encerramento do lixão, mesmo que ainda sejam realizadas “pequenas” queimas na área.

5.4. Qualidade do Solo da Área do Lixão do Timbuba/Pau-Deitado

5.4.1. Apresentação e Discussão dos Resultados Físicos e Químicos – Solo

Referente aos resultados físicos foram analisados os seguintes parâmetros: granulometria, porosidade, densidade, textura e a capacidade que o solo possui em reter a água. Abaixo na Tabela 9 se tem os resultados referentes a cada ponto analisado na área do lixão.

Tabela 9 – Resultados físicos do solo dos pontos da área de estudo

Parâmetro		P01	P02	P03	P04	P05	P06
Granulometria (%)	Areia Grossa	31	26	23	17	21	19
	Areia Fina	64	58	69	72	63	69
	Silte	2	4	2	3	5	4
	Argila	3	12	6	7	11	8
Textura		Areia	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia
Densidade g/cm³	Aparente	1,14	1,39	1,23	1,29	1,31	1,27
	Real	2,56	2,54	2,79	2,65	2,71	2,63
Porosidade (%)		58	53	57	51	53	55
H2O (%)		21	27	19	21	23	16

Fonte: Autor (2022).

O solo da área em estudo mostrou-se ser arenoso, possuindo uma textura grossa. Como se tratam de solos arenosos, a porosidade se torna elevada, devido os grãos de areia estarem mais soltos e, logo, não possuem grande capacidade de retenção de água e nem de retenção de cátion.

A textura do solo é entendida pela proporção relativa das características granulométricas que são responsáveis por compor a massa do solo. Essa proporção define a classe da textura e, junto a isso, modifica a capacidade da retenção de água no solo. A permeabilidade de líquidos em solos arenosos faz com que a percolação de contaminantes seja possível por meio da infiltração, assim tornando a área potencialmente contaminada (LIMA, 2015)

A textura média a grossa dos solos arenosos em análise é classificada pela EMBRAPA (2006) como excessivamente a fortemente drenados, pois são muito porosos

e permeáveis. Já a relação silte/argila, de acordo com a EMBRAPA (2006), quando apresenta valor menor que 0,7 para solos de textura média, os seus valores admitem que se trate de solo com baixo teor de silte e, portanto, com alto grau de intemperismo, fato que pode ser admitido pelos resultados de solos dos seis pontos analisados.

Em relação à capacidade do solo de reter água e que é disponível para as plantas (útil) e está relacionado com a capacidade de campo (C_c) – $1/3$ atm – e o ponto de murchamento (P_m) – 15 atm é considerada baixa (EMBRAPA, 2006). Dito isso, evidencia-se que a capacidade de retenção de água dos solos analisados é considerada baixas, uma vez que apresentam percentuais abaixo de 50%, como podem ser consultados na Tabela 9.

A atenuação dos efeitos de contaminação por chorume ocorre pela passagem através rochas profundamente intemperizadas ou solos profundos que são razoavelmente bem drenados. Se a permeabilidade da terra é baixa, o chorume pode acumular no fundo do lixo e eventualmente e descarregar lateralmente para a superfície. Mas, se a permeabilidade do solo for elevada, assim como o solo da área em estudo, pode simplesmente resultar em movimento de massas de poluentes descendentes dentro da água subterrânea (LISK, 1991).

No caso dos solos da área de estudo, como mencionado acima, verifica-se que os mesmos não possuem alta capacidade de reter água, uma vez que os resultados variam entre 19 a 27%, segundo os resultados obtidos. Todavia, devido à porosidade dos solos da área, a infiltração do chorume, oriundo da decomposição de resíduos, pode ocorrer no interior do solo devido o mesmo ser classificado como solo arenoso e permeável.

No caso dos pontos analisados, verificou que em exatamente todos os pontos analisados, se obteve porosidade acima de 50%, tal fato está associado à presença de metais pesados e outros contaminantes que comprometem a qualidade do solo, tornando a área potencialmente contaminada, devido os solos arenosos serem de fácil infiltração de água no solo, no caso permitindo que o chorume permeie no solo alterando as características originais.

5.4.2. Apresentação dos Resultados Analíticos – Metais Pesados

Quanto aos resultados analíticos referentes à presença de metais pesados no P01, P02, P03, P04, P05 e P06, os mesmos foram comparados principalmente com os valores

máximos permitidos (VMP) para solo de uso agrícola, visto que à população em torno desenvolve práticas de plantação para consumo próprio e comercialização.

Na oportunidade foi dado importância aos resultados quanto ao valor máximo permitido de prevenção (VMP). No entanto, a título de informação, na Tabela 10 abaixo, se tem os valores máximos permitidos (VMP) de prevenção, para usos agrícolas, residencial e industrial.

Tabela 10 – Valores Máximos Permitidos (VMP) para qualidade do solo

Parâmetro (mg/kg)	VMP de Prevenção	VMP Agrícola	VMP Residencial (I)	VMP Industrial (I)
Boro	-	-	-	-
Cádmio	1,3	3	8	20
Chumbo	72	180	300	900
Cobre	60	200	400	600
Cromo	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-
Mercúrio	0,5	12	36	70
Níquel	30	70	100	130
Zinco	300	450	1.000	2.000

Fonte: Anexo II da CONAMA (2009).

A Tabela 11 exibe os resultados referentes às análises dos resultados dos 10 (dez) parâmetros analisados. Logo, verifica-se que no P01 fora detectado a presença do metal de chumbo e mercúrio. Ainda no P01, notou-se que 03 (três) parâmetros de metais pesados Cr (cromo), Mn (manganês) e Zn (zinco) estão acima do VMP de prevenção.

Tabela 11 – Resultados das análises de solo do P01

Boro	< 0,6 mg/kg
Cádmio	1,27 mg/kg
Chumbo	189,5 mg/kg
Cobre	19,19 mg/kg
Cromo	129,5 mg/kg
Ferro	30.988,3 mg/kg

Manganês	18,2 mg/kg
Mercúrio	21,4 mg/kg
Níquel	5,3 mg/kg
Zinco	321,8 mg/kg

Fonte: Autor (2022).

Como mencionado anteriormente, os metais pesados que apresentaram resultados acima do valor máximo permitido (VMP) pela CONAMA nº 420/2009 foram: Pb (chumbo) e Hg (mercúrio), com valores de 189,5 mg/kg e 21,4 mg/kg, respectivamente. Quanto à presença de Cr (cromo), Mn (manganês) e Zn (zinco), se obteve os seguintes resultados analíticos: 129,5 mg/kg, 18,2 mg/kg e 321,8 mg/kg, respectivamente, evidenciado que os referidos metais pesados estão acima dos valores máximos permitidos de prevenção.

Abaixo na Tabela 12 se tem os resultados de metais pesados encontrados no P02 da área estudada.

Tabela 12 – Resultados das análises de solo do P02

Boro	0,7 mg/kg
Cádmio	6,21 mg/kg
Chumbo	77,4 mg/kg
Cobre	109,2 mg/kg
Cromo	182,7 mg/kg
Ferro	34.703,5 mg/kg
Manganês	30,7 mg/kg
Mercúrio	9 mg/kg
Níquel	0,7 mg/kg
Zinco	481,6 mg/kg

Fonte: Autor (2022).

Verifica-se acima que foram identificadas a presença de exatamente dois metais pesados acima do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA utilizada para base desse estudo. O Cd (cádmio) com valor de 6,21 mg/kg e o Zn (zinco) com resultado exato de 481,6 mg/kg. Referente aos parâmetros que ultrapassaram o VMP de prevenção no segundo ponto de análise, os mesmos foram: Pb (chumbo) com 77,4 mg/kg, Cu (cobre)

com resultado de 109,2 mg/kg, Cr (cromo) possuindo 182,7 mg/kg e Hg (mercúrio) tendo resultado de 9,0 mg/kg.

Em seguida, na Tabela 13 são apresentados os resultados encontrados referente ao terceiro ponto (P03) de análise do solo da área do Lixão do Timbuba/Pau-Deitado. Os seguintes metais pesados detectados, foram:

Tabela 13 – Resultados das análises de solo do P03

Boro	0,7 mg/kg
Cádmio	4,69 mg/kg
Chumbo	91,4 mg/kg
Cobre	73,6 mg/kg
Cromo	68,9 mg/kg
Ferro	12.542,8 mg/kg
Manganês	39,2 mg/kg
Mercúrio	17,8 mg/kg
Níquel	20 mg/kg
Zinco	752,6 mg/kg

Fonte: Autor (2022).

Nota-se acima que na amostra de solo do ponto 03 se teve a presença de: Cd (cádmio), Hg (mercúrio) e Zn (zinco), com valores de: 4,69, 17,8 e 752,6, respectivamente. Quanto aos resultados que se limitam ao risco de valores de prevenção, somente os metais pesados Pb (chumbo) e Cu (cobre) estiveram acima dos VMP, com valores de: 91,4 e 73,6, respectivamente, servindo de alerta ao poder público como destaque para a descontaminação da área.

Em seguida foram realizadas análises dos metais pesados que estão presentes no quarto ponto (P04) e, junto a isso, os resultados analíticos encontrados estão dispostos na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – Resultados das análises de solo do P04

Boro	0,6 mg/kg
Cádmio	3,1 mg/kg
Chumbo	160,2 mg/kg
Cobre	204,7 mg/kg
Cromo	141,1 mg/kg

Ferro	26.897,6 mg/kg
Manganês	55,3 mg/kg
Mercúrio	24,7 mg/kg
Níquel	12,4 mg/kg
Zinco	486,8 mg/kg

Fonte: Autor (2022).

O Cd (cádmio), Cu (cobre), Hg (mercúrio) e o Zn (zinco) foram os metais pesados encontrados na amostra de solo do P04 que estiveram acima do VMP estabelecido pelo Anexo II da CONAMA nº 420/2009. Os valores 3,1 mg/kg, 204,7 mg/kg, 24,7 mg/kg e 486,8 mg/kg são referentes aos metais pesados encontrados, respectivamente. Quanto aos metais pesados Pb (chumbo) e Cr (cromo) foram encontrados valores que determinam que os mesmos estão acima do VMP de prevenção, como determina a Resolução CONAMA supracitada acima.

Logo a seguir na Tabela 15 tem-se os resultados que são referentes às análises da qualidade do solo do ponto 05 da área de estudo, bem como os valores que estão acima do que é permitido pela legislação vigente e os resultados que estão em acima dos valores de prevenção.

Tabela 15 – Resultados das análises de solo do P05

Boro	0,5 mg/kg
Cádmio	0,91 mg/kg
Chumbo	100,9 mg/kg
Cobre	103,32 mg/kg
Cromo	147,2 mg/kg
Ferro	8.207,6 mg/kg
Manganês	36,5 mg/kg
Mercúrio	20,1 mg/kg
Níquel	75,2 mg/kg
Zinco	310,3 mg/kg

Fonte: Autor (2022).

Os resultados dos parâmetros Hg (mercúrio) e Ni (níquel) encontrados nas análises do ponto 05 estão em desconformidade ao estabelecido na Resolução CONAMA

nº420/2009, uma vez que apresentaram os seguintes resultados: 20,1 mg/kg e 75,2 mg/kg, respectivamente. Consoante a isso, os parâmetros de Pb (chumbo), Cu (cobre), Cr (cromo) e Zn (zinco) estiveram acima do limite permitido no que diz respeito aos valores de prevenção, apresentando os seguintes resultados: 100,9 mg/kg, 103,32 mg/kg, 147,2 mg/kg e 310,3 mg/kg, respectivamente.

Referente ao último ponto analisado (P06), encontrou-se a presença dos seguintes metais pesados apresentados na Tabela 16 abaixo. Ainda, na referida Tabela está disposto também os valores máximos permitidos (VMP) que dizem respeito aos níveis de prevenção do solo.

Tabela 16 – Resultados das análises de solo do P06

Boro	2,6 mg/kg
Cádmio	7,3 mg/kg
Chumbo	101,9 mg/kg
Cobre	224,7 mg/kg
Cromo	163,4 mg/kg
Ferro	9.677 mg/kg
Manganês	75 mg/kg
Mercúrio	10,5 mg/kg
Níquel	83,7 mg/kg
Zinco	521,2 mg/kg

Fonte: Autor (2022).

Os resultados referentes às análises do P06 evidenciam que há presença de Cd (cádmio), Cu (cobre), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (manganês), devido os valores estarem acima do permitido pela legislação (CONAMA nº 420/2009). Quanto aos parâmetros de Pb (chumbo) e Hg (mercúrio) ambos apresentaram resultados que comprovam que os mesmos estão acima do VMP de prevenção.

5.4.3. *Discussão dos Resultados Analíticos dos Metais Pesados*

Neste item de discussões é possível compreender o impacto que a presença dos metais pesados tem sobre o meio ambiente e a qualidade da saúde dos seres humanos. Aqui é discutido por tópico os metais pesados que estiveram acima do valor máximo

permitido (VMP) que é estabelecido pelo Anexo II da Resolução CONAMA nº 420 do ano de 2009.

Cádmio

Referente à detecção da substância química Cd (cádmio), verificou-se a presença desse metal em exatamente quatro pontos (P02, P03, P04 e P06), sendo que seis foram analisados. No P02 se teve o resultado de 6,21mg/kg, no P03 4,69mg/kg, já o P04 apresentou 3,1mg/kg de cádmio e, por último, no P06, constatou-se 7,3mg/kg do referido metal pesado. Já nos pontos P01 e P05 o cádmio não se apresentou acima do VMP de prevenção.

Segundo Carvalho *et. al.*, (2017) a substância química ou metal pesado “Cádmio (Cd)” tem como uma das fontes principais de liberação, a queima do lixo doméstico, visto que está presente na composição de pilhas e baterias de eletrônicos que são utilizados comumente pelos seres humanos, como celulares, pilhas de controles remotos e pilhas que são recarregáveis.

Em um estudo realizado por Rocha (2016), onde teve como objetivo analisar a presença de Cd (cádmio) em uma área de lixão desativo em Buriticupu/MA, o autor descreve que dos 16 pontos amostrais que foram utilizados para análise do solo, 38% (equivalente a 06 amostras) apresentaram a presença do metal pesado acima do VMP estabelecido pela CONAMA nº420/2009.

Rocha (2016) no estudo evidencia que no perímetro da área estudada foram encontrados resíduos eletrônicos, esses sendo responsáveis pela contaminação de cádmio no solo, visto que na composição desses materiais há diversas substâncias químicas que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

O autor ainda destaca que os metais pesados estão cada vez mais próximos da superfície, entre 0 a 40cm de profundidade, assim sendo possível a detecção dos contaminantes no solo, fato esse que está associado à profundidade da cava para coleta de amostra dessa pesquisa.

No lixão do Timbuba/Pau-Deitado, onde fora realizado o estudo dessa dissertação, verificou-se na área a disposição de resíduos eletrônicos (celulares, televisões, rádios, dentre outros) que possuem o metal pesado Cd (cádmio). A elevação de níveis naturais de substâncias químicas no solo evidencia a presença da atividade humana na área estudada.

A incorreta disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) no antigo Lixão do Timbuba/Pau-Deitado sem qualquer segregação ou preparo da área, é potencial poluidora para os atributos ambientais que estão na área, como: solo, recursos subterrâneos e as vegetações, já que a deposição de RSU a presença e o acúmulo dos metais no solo.

De acordo com Berlanda *et. al.*, (2021) a presença, acúmulo e elevação dos metais pesados sobre os fatores do meio ambiente (água e solo), em geral, estão associados a fontes de poluição que são originadas práticas antrópicas, como: incineração de resíduos, combustão de resíduos e atividades industriais.

Chumbo

Quanto a análise da presença do metal pesado chumbo (Pb) nas 06 (seis) amostras analisadas, em somente um único ponto foi detectado o valor acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 420/2009. No P01, obteve um resultado de 189,5 mg/kg do contaminante chumbo (Pb), fato este que evidencia que o resultado está acima do valor máximo permitido (VMP) pela legislação vigente, uma vez que o VMP é de exatamente 180 mg/kg.

Nos demais pontos analisados (P02, P03, P04, P05 e P06) houve presença do metal pesado aqui discutido, porém, com valores inferiores ao VMP permitido pela legislação. Os valores de 77,4 mg/kg, 91,4 mg/kg, 160,2 mg/kg, 100,9 mg/kg, 101,9 mg/kg referem-se aos pontos citados acima, respectivamente.

Embora os resultados dos demais pontos estejam dentro dos valores máximos permitidos pela legislação brasileira, ambos se encontram acima do valor de prevenção que a referida legislação determina (Resolução CONAMA nº 420 do ano de 2009), sendo assim, os resultados para o parâmetro de chumbo (Pb) acima de 72 mg/kg.

Em um estudo realizado com objetivo de determinar a presença de contaminantes químicos no lixão do município de Buriticupu/MA por Rocha (2016), o autor descreve que há presença de chumbo nas amostras analisadas mesmo com as atividades do lixão devidamente interrompidas.

Rocha (2016) ainda destaca que esse estudo no território maranhense evidencia que mesmo que a área possua encerramento das atividades, a contaminação do solo prevaleceu devido a decomposição dos resíduos que são compostos pelos contaminantes químicos e o chumbo (Pb) contém potencial contaminante para evitar que a vegetação se desenvolva na área contaminada.

O teor de chumbo de todos os pontos analisados no lixão do Timbuba/Pau-Deitado estavam acima do valor de prevenção estabelecido pela legislação e, embora só um tenha apresentado resultado superior ao VMP de contaminação, os demais pontos podem estar considerados sob estado de alerta.

Segundo Pinheiro e Mochel (2018) em um estudo realizado para determinação de metais pesados no solo de um lixão em Paço do Lumiar/MA foram encontrados teores de chumbo (Pb) em alta concentração. As autoras ainda destacaram que em amostras dos pontos que estavam na Área de Influência Direta (AID) da atividade também obtiveram presença de teores elevados de chumbo (Pb).

Referente à presença de chumbo (Pb) na área estudada, lixão do Timbuba/Pau-Deitado se dá pelo fato da presença e decomposição dos resíduos sólidos dispostos em solo despreparado, uma vez que na área foi detectada a presença de embalagens e produtos de cosméticos que em sua composição contém o elemento químico chumbo (Pb).

Comparado ao estudo feito por Pinheiro e Mochel (2018), a área de estudo das autoras foi classificada como contaminada devido as amostras analisadas conterem a presença de chumbo (Pb), principalmente no ponto de análise 04. As autoras discutiram e evidenciaram que o estudo realizado em Paço do Lumiar/MA obteve valores mais elevados que estudos realizados em lixões do Rio Grande do Norte, por exemplo.

Cobre

O teor de cobre (Cu) encontrado nas análises do solo estão relacionados também a presença de resíduos sólidos na área estudada. Dos seis pontos analisados, somente 02 (dois) pontos apresentaram resultados superiores ao VMP da Resolução CONAMA nº 420/2009, o P04 e P06 com resultados de 204,7 mg/kg e 224,7 mg/kg, respectivamente, assim comprometendo a qualidade do solo estudado.

Das demais amostras (P01, P02, P03 e P05) somente o P01 esteve abaixo do limite de prevenção, já os demais estiveram acima, tendo como resultados entre 73,6 mg/kg a 109,2 mg/kg, valores estes que estão dentro do valor máximo permitido (VMP) para contaminação do solo.

No estudo feito por Pinheiro e Mochel (2018) foi encontrada presença de cobre em absolutamente 02 (três) pontos amostrais, ambos possuindo valores inferiores ao estabelecido pela Resolução. Embora os resultados tenham apresentado níveis dentro dos

parâmetros da legislação, os mesmos estão acima do VMP para prevenção, uma vez que obtiveram resultados de 113,9 mg/kg e 52,23 mg/kg, respectivamente.

O cobre (Cu) é um contaminante prejudicial à população humana e ao meio ambiental. A presença desse metal pesado é capaz de interferir no desempenho do metabolismo de adultos e crianças, devido ser um metal com teor de toxicidade elevado (RIBEIRO E MORELLI, 2009).

Para o meio ambiente, a presença de cobre é preocupante devido ao excesso de cobre (Cu) ser um contaminante químico. As altas concentrações desse metal pesado no solo podem ser tóxica para as vegetações existentes, aos animais e até mesmo aos seres humanos (MANTOVANI, 2009).

Cromo

O ponto 06 (P06) foi o único onde se obteve a presença elevada do metal pesado cromo (Cr), com resultado 163,4 mg/kg. O valor encontrado no referido ponto confirma que está acima do estabelecido pela legislação vigente e que compromete a qualidade do solo analisado, visto que há o elevado teor de cromo (Cr) na amostra de solo analisada.

Quanto aos demais pontos amostrais para qualidade do solo, o parâmetro de cromo (Cr) nos pontos P01, P02, P04 e P05 estiveram acima de 75mg/kg, evidenciando que tais resultados se encontram acima do valor máximo para prevenção. Quanto ao P03, o mesmo obteve resultado inferior ao valor máximo permitido (VMP) para prevenção e contaminação do solo.

De acordo com Rocha (2016) o cromo (Cr) é um contaminante altamente tóxico e também é considerado prejudicial à saúde humana, uma vez que pode desenvolver problemas carcinogênicos ou mutagênico, mesmo que em pequenas concentrações do contaminante.

Na pesquisa realizada por Pinheiro e Mochel (2018) não se detectou a presença de cromo (Cr) nas amostras de solo analisadas. No entanto, no ato conclusivo da pesquisa, as autoras destacaram a necessidade do monitoramento da área novamente, uma vez que alguns dos parâmetros analisados não corresponderam à problemática levantada para elaboração do estudo.

Em trabalho realizado por Marques (2011) em três áreas de disposição, sendo um aterro sanitário, um controlado e um lixão já desativado, detectou-se a presença de contaminantes no solo como cobre acima do valor de prevenção, níquel e cromo acima

dos valores de intervenção principalmente em camadas mais profundas (20-40 cm), sendo esses valores mais elevados à jusante do que no próprio local de disposição. Isso pode ser explicado em decorrência dos metais pesados terem a capacidade de recalcitrância e, portanto, são cumulativos no ambiente. (MARQUES, 2011).

Mercúrio

Segundo a Resolução CONAMA nº 420/2009, o valor máximo permitido (VMP) quanto a presença de mercúrio no solo é de 12 mg/kg. Os pontos P01, P03, P04 e P05 apresentaram teores do metal pesado mercúrio (Hg) nas amostras de solo, esses pontos são equivalentes a pouco mais de 60% das amostras analisadas e, tal fato, está associado ao comprometimento da qualidade do solo.

Os resultados apresentados, respectivamente, foram: 21,4 mg/kg, 17,8 mg/kg, 24,7 mg/kg e 20,1 mg/kg. Quanto aos demais pontos (P02 e P06) os mesmos tiveram resultados de 9,0 mg/kg 10,5 mg/kg, respectivamente. Os valores que as análises dos de solo para determinação de mercúrio (Hg) dos pontos P02 e P06 estão acima do valor máximo permitido (VMP) para níveis de prevenção, uma vez que, de acordo com o Anexo II da legislação vigente, o VMP de prevenção do mercúrio (Hg) é de 0,5 mg/kg.

Em estudo realizado por Calvett, Carvalho e Forte Neto (2013) foi identificada a presença de mercúrio (Hg) em exatamente 12 amostras de solo que os autores realizaram análise. No entanto, os valores obtidos se encontraram abaixo do VMP estabelecido pela legislação, logo, a área do lixão não foi classificada como contaminada quanto a presença de mercúrio (Hg).

Em 2018, em pesquisa realizada por Pinheiro e Mochel (2018) em Paço do Lumiar/MA, houve presença de mercúrio (Hg) em todos os pontos amostrais analisados e os valores estavam 100% acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009.

As autoras Pinheiro e Mochel, 2018 relatam que a presença de mercúrio se dá por meio da presença e decomposição de resíduos sólidos que contém a presença desse elemento químico em sua composição física. Os resíduos sólidos que apresentam mercúrio e que foram identificados durante as visitas de campo são: termômetros, manômetros, resíduos de lâmpadas fluorescentes dentre outros.

Os resíduos mencionados anteriormente além de serem depositados de maneira incorreta na área do lixão do Timbuba/Pau-Deitado, eram queimados em qualquer ponto

do perímetro da área estudada, com a queima dos resíduos, os mesmos liberam mercúrio no meio ambiente, mais especificamente no solo, fazendo com que os níveis de mercúrio sejam altos, levando à contaminação.

De acordo com Jesus *et. al.*, (2018) em uma pesquisa científica realizada para avaliar o nível de mercúrio (Hg) em uma população exposta ambientalmente, os autores discutem e afirmam que o mercúrio está amplamente distribuído em solos não contaminados, porém com baixas concentrações. Com o gerenciamento de resíduos sólidos incorreto a intensificação do metal pesado no solo e no meio ambiente pode comprometer a qualidade dos atributos ambientais.

Já de acordo com Troyack *et. al.*, (2021) em pesquisa feita para identificação de metais pesados em Resende/RJ, de 102 amostras analisadas, 73 amostras apresentaram teores de mercúrio acima do VMP pela legislação aplicada, assim, sendo 75% das amostras com presença do mercúrio (Hg) o que detona o comprometimento e contaminação do solo onde há presença de resíduos sólidos descartados irregularmente.

No estudo conduzido por Rocha (2016) no lixão do município de Buriticupu/MA foi identificado em 07 (sete) amostras valores elevados para mercúrio (Hg) de um total de 16 amostras de solo. Os valores identificados nas sete amostras de solo para o mercúrio (Hg) variaram entre 5,45 a 79,92 mg/kg, o que denota que nem todas as amostras estavam acima do VMP para contaminação.

Como a Resolução CONAMA nº 420/2009 determina que acima de 5 mg/kg de mercúrio (Hg) no solo é nível preocupante para prevenção, o total de 07 (sete) apresentam VMP para níveis de prevenção. Segundo Rocha (2016) a presença de mercúrio ocorre de maneira naturais na crosta terrestres e deposita-se no solo e a duração é longa, o que pode resultar incremento do elemento químico nas águas por meio da lixiviação e erosão.

No estudo feito por Rocha (2016) o mercúrio (Hg) foi determinado com teores elevados em pontos onde os resíduos sólidos (lâmpadas fluorescentes, resíduos de germicida, resíduos de fungicida e em amálgamas para fins odontológicos) estavam visivelmente dispostos irregulares, fato esse que evidencia que a presença e decomposição de resíduos que tem em sua composição o mercúrio (Hg) comprometem a qualidade do solo e podem contaminá-lo devido aos altos valores de concentrações que os mesmos possuem.

Níquel

Referente à análise da presença do metal pesado níquel (Ni) nas amostras de solo coletadas, foi identificada alta concentração do metal nos pontos P05 e P06, com resultados de 75,2mg/kg e 83,7mg/kg, respectivamente, assim estando em desconformidade com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº420/2009.

Nos demais pontos analisados o parâmetro obteve resultados abaixo do VMP para prevenção e VMP para contaminação. Os valores obtidos nas análises dos demais pontos P01, P02, P03 e P04, foram: 5,3 mg/kg, 0,7 mg/kg, 20 mg/kg e 12,4 mg/kg, respectivamente.

Segundo Alves (2018) o elemento químico níquel (Ni) é um metal de ocorrência natural em rochas de origem magmáticas. Esse elemento pode ser inserido no solo por ações e atividades antrópicas, como por exemplo: a agricultura e a disposição irregular de resíduos sólidos em solos despreparados. O níquel (Ni) é fundamental para o desenvolvimento das plantas, no entanto, é considerado tóxico quando está em elevadas concentrações.

De acordo com Paganini, Souza e Bocchiglieri (2004) o níquel (Ni) uma vez que está em alta concentração no solo, apresenta ameaça às plantas, segundo estudo realizado pelos autores mencionados. Os elevados teores de níquel (Ni) levam à flora efeitos causados pela toxidez que o metal pesado ocasiona, dito isso, a ausência de plantas pode ocorrer na área.

Os resíduos sólidos que liberam o metal pesado níquel também podem ser encontrados em pequenos e grandes lixões. Em estudo realizado em lixão desativado no estado de Santa Catarina, foram identificadas altas concentrações de níquel (Ni) em virtude da recalcitrância no ambiente. Além disso, em pesquisa realizada em um outro lixão no estado do Rio Grande do Norte, houve também a presença de teores elevados de níquel (Ni) oriundos da decomposição de resíduos sólidos (PINHEIRO E MOCHEL, 2018).

Marques (2011) realizou um estudo em três áreas de disposição de resíduos sólidos, sendo elas: um lixão desativado, um aterro controlado e um aterro sanitário. Em todas as áreas foram encontradas concentrações acima do valor máximo permitido (VMP) pela Resolução CONAMA nº 420/2009 e, com isso, os autores destacam que isso pode ser devidamente explicado pelos metais pesados possuírem capacidade de recalcitrância e, logo, serem considerados cumulativos sobre o meio ambiente.

Referente à presença de níquel (Ni) estar somente em dois pontos da área do lixão do Timbuba/Pau-Deitado, tal fato pode estar associado à decomposição dos resíduos, uma

vez que nos pontos P02 e P04, por exemplo, havia queima de resíduos comuns (papel, papelão e plástico) visualmente.

Zinco

Quanto à presença de zinco (Zn) no solo, o valor máximo permitido (VMP) para contaminação é de 450 mg/kg para cada amostra de solo. Quanto as amostras analisadas, as que obtiveram VMP acima do estabelecido por legislação foram os pontos: P02, P03, P04, e P06, com resultados de: 481,6 mg/kg, 752,6 mg/kg, 486,8 mg/kg e 521,2 mg/kg, respectivamente. Os pontos P01 e 05 obtiveram resultados de 321,8 mg/kg e 310,3 mg/kg, respectivamente.

O zinco (Zn) fora encontrado em 66% dos pontos estudados, e no restante se obteve acima do VMP de prevenção, o que denota que há grande quantidade de zinco (Zn) na área do lixão do Timbuba/Pau-Deitado. Tal fato está associado à presença dos resíduos sólidos que foram dispostos na referida área, assim, a contaminando com altas concentrações do metal pesado, além dos altos teores de zinco (Zn) serem tóxicos às plantas e à saúde da população.

Em pesquisa realizada por Pinheiro e Mochel (2018) no lixão de Paço do Lumiar/MA, foram identificados valores acima do permitido por legislação. A alta concentração de zinco (Zn), além de comprometer o desempenho agrícola e residencial da localidade, visto que foram dispostos inúmeros tipos de resíduos na área do lixão.

Quanto aos dois pontos que apresentaram valores de contaminação dentro do permitido na legislação, deve-se dar atenção aos mesmos, visto que estão acima do VMP para prevenção, logo, podendo futuramente comprometer ainda mais a qualidade do solo e o desempenho da flora, já que altas concentrações são tóxicas às plantas, podendo causar a inexistência delas.

Em comparação com valores encontrados de zinco (Zn) no lixão de Paço do Lumiar, notou-se que, os valores do lixão do Timbuba/Pau-Deitado foram mais elevados, uma vez que a presença elevada dos valores de zinco (Zn) no lixão de Paço do Lumiar se manteve acima dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 em exatamente 03 (três) pontos (PINHEIRO E MOCHEL, 2018).

Segundo Baum *et. al.*, (2022) a contaminação que é oriunda da presença do metal pesado zinco (Zn) na coletividade ocasiona alguns problemas de saúde que causam

desestabilização no sistema imunológicos, tais sintomas e doenças são: tosse forte, febres, dores de cabeça, náusea e vômito, secura na garganta, dentre outras.

A ausência da coleta seletiva e da destinação ambientalmente adequada para os resíduos sólidos que possuem metais pesados é prejudicial aos fatores ambientais existentes, visto que, uma vez que os resíduos sólidos são depositados de maneira irregular, eles tendem a passar pelo processo de decomposição e, consequentemente, contaminam o solo e as águas subterrâneas.

5.5. Qualidade da Água do Poço Artesiano da Área de Estudo

5.5.1. Apresentação dos Resultados Físicos, Químicos e Microbiológicos da Qualidade da Água do Poço Artesiano

Referente aos resultados da amostra de água do poço artesiano que é responsável por abastecer alguns moradores da região, visto que em algumas casas não há sistema de abastecimento de água potável fornecido pela concessionária municipal, se tem os seguintes resultados dos parâmetros analisados expostos na Tabela 17.

Os resultados obtidos foram devidamente comparados juntos aos Valores Máximos Permitidos (VMP) que são estabelecidos pela Portaria nº 888 do ano de 2021, publicada em 04 de maio do referido ano pelo Ministério da Saúde, que teve como objetivo alterar a Portaria da Consolidação nº05 de 2017, que trata sobre a qualidade da água para consumo da humanidade e os padrões de potabilidade.

Tabela 17 - Resultados da análise da água do poço artesiano da área de estudo

Parâmetro (mg/L)	Resultado	Unidade	VMP – GM/MS nº888/2021
Alumínio	0,34	mg/L	0,01
Amônia	< 0,001	mg/L	0,001
Bário	< 0,001	mg/L	0,01
Cádmio	1,10	mg/L	0,001
Chumbo	< 0,01	mg/L	0,01
Cloreto	37,06	mg/L	250
Cobre	0,13	mg/L	2

Coliformes totais	Presença	NMP/100mL	Ausência
Cor verdadeira	0	Pt/Co	-
DBO (05 dias)	< 1	mg/L	-
DQO	< 15,6	mg/L	-
<i>Escherichia coli</i>	Presença	NMP/100mL	Ausência
Ferro	0,42	mg/L	0,3
Fluoreto total	< 0,1	mg/L	1,5
Fósforo total	< 0,01	mg/L	-
Manganês	0,1	mg/L	0,1
Merúrio	2,39	mg/L	0,001
Níquel	< 0,01	mg/L	0,07
Nitrogênio amoniacal	1,76	mg/L	-
Oxigênio dissolvido	< 3	mg/L	-
pH	5,4	-	6 a 9
Selênio	< 0,001	mg/L	0,04
Turbidez	7,0	NTU	5
Urânio	< 0,001	mg/L	0,03
Zinco	0,008	mg/L	5

Fonte: Autor (2022).

Verifica-se através da Tabela 17 acima que foram analisados 25 parâmetros, envolvendo as variáveis físicas, químicas e microbiológicas que são responsáveis por compor a potabilidade da água para o abastecimento humano e demais usos portáteis necessários.

Nota-se através da observação e leitura da Tabela 17 que um total de 10 (dez) parâmetros estiveram em desconformidade com a Portaria nº 88/2021 do Ministério da Saúde, isso se dá pelo fato de possuírem valores abaixo ou acima do VMP (valor máximo permitido) que a referida legislação estabelece.

Os parâmetros que se encontram em desconformidade com a legislação vigente foram os seguintes: alumínio (Al), cádmio (Cd), coliformes totais, *Escherichia coli*, mercúrio (Hg), pH e turbidez, ambos com resultados acima do VMP, exceto o pH que teve resultado abaixo do resultado mínimo que a legislação exige.

Os parâmetros tiveram os seguintes resultados: alumínio 0,34 mg/L, cádmio 1,10 mg/L, coliformes totais houve presença, assim como o parâmetro de *escherichia coli*,

mercúrio apresentou 2,39 mg/L, pH 5,4, turbidez apresentou 7 NTU e, por fim, o zinco obteve presença na água com 6,20 mg/L.

5.5.2. Discussão dos Resultados da Qualidade da Água do Poço Artesiano

Neste presente item de discussões é possível compreender o impacto que a os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos tem sobre a saúde da população devido a alteração das propriedades estudadas. É discutido por tópicos os parâmetros que estiverem em desconformidade com a Portaria nº 888/2021 (Potabilidade da Água) do Ministério da Saúde.

Alumínio (Al)

A existência de alumínio (Al) em águas potáveis pode ter a origem, segundo Yamaguishi (2013), de duas fontes, sendo: 1) das atividades dos microrganismos e atividades de mineralização, conduzindo a baixos níveis em águas superficiais e subterrâneas. 2) intervenção da atividade humana, como: emissão de fontes de efluentes e destinação inadequada de resíduos sólidos.

A presença de alumínio (Al) foi detectada acima do VMP que a legislação vigente permite, tendo como resultado 0,34 m/L. Segundo Cleto (2008) em um estudo realizado para compreender a presença de alumínio (Al), o autor destaca que elevada presença de alumínio pode ocasionar doenças à saúde da população, como, por exemplo, a doença de Alzheimer.

Em estudo realizado por Pinheiro e Mochel (2018) onde as pesquisadoras detectaram a presença de alumínio nas águas superficiais que estavam próximas à área de estudo, as autoras discutiram que a contaminação dos corpos hídricos é oriunda da disposição inadequada dos resíduos sólidos, visto que alguns materiais dispostos liberam o alumínio e comprometem a qualidade da água.

Segundo Rodrigues (2002) embora o alumínio seja um componente natural que esteja presente no solo e, conseqüentemente nas águas subterrâneas, a decomposição de resíduos e a percolação (por meio do chorume) pode intensificar a presença do alumínio nas águas, assim, comprometendo a qualidade e limitando o uso.

De acordo com pesquisas conduzidas por Tomijenovic (2011) o alumínio consumido em quantidades elevadas é tóxico à saúde humana, uma vez que causa doenças

crônicas devido à alta concentração nos tecidos e nas células neurológicas, chegando a expor o organismo ao processo da bioacumulação do metal. Além disso, a alta concentração de alumínio (Al) vem a provocar seborréia, irritabilidade, alopecia e o deslocamento magnésio e cálcio dos ossos, levando o ser humano a uma doença chamada osteoporose.

Cádmio (Cd)

De acordo com a Tabela 17 acima, o metal pesado cádmio (Cd) também esteve acima do VMP que a legislação estabelece, tendo como valor da análise 1,10 mg/L. Tal fato pode estar associado à presença de resíduos sólidos que estão dispostos de maneira irregular na área do lixão, visto que, a infiltração do chorume no solo é evidente, devido a porosidade em que o solo da área se encontra.

Segundo Ferraz *et. al.*, (2018) em um estudo realizado no estado da Bahia, onde objetivou realizar análise da presença de metais pesados em poços subterrâneos, a presença de cádmio (Cd) se encontrou fora do valor aceitável pela legislação vigente naquele ano e fora encontrada em exatamente todos os poços subterrâneos.

Em um estudo realizado por Nakamura *et. al* (2014) que objetivou analisar a qualidade das águas subterrâneas próximas a um lixão, não foi identificada a presença de cádmio (Cd) em nenhuma das campanhas de análise da qualidade da água. Todavia, os pesquisadores evidenciaram que a área precisa passar por uma campanha de amostragem mais ampla, visto que no entorno dos poços monitorados, há presença e descarte de resíduos sólidos sem qualquer tratamento prévio.

Através de Lima, França e Jesus (2018) é possível compreender que o cádmio (Cd) é um metal que está no meio ambiente de forma natural e, com a intensificação das atividades humanas e a presença de resíduos sólidos e lançamento de efluentes líquidos, o nível de cádmio pode se elevar e ser altamente tóxico à saúde da população.

Coliformes Totais e *Escherichia coli* (E.coli)

De acordo com Santos *et. al.*, (2016) a presença de coliformes totais na água é indicador sobre a existência de microrganismos patogênicos que podem vir a causar doenças por veiculação hídricas, como, por exemplo: giardíase, febre tifoide, hepatite infecciosa, amebíase, cólera e gastroenterite.

Em um estudo realizado por Araújo (2019) foi identificada a presença de coliformes totais em todos os pontos, em pelo menos uma bateria de amostragem. A presença de coliformes totais é oriunda de fezes humanas e de animais que possuem uma caracterizada pela presença da enzima β -galactosidade.

De acordo com Pinheiro e Mochel (2018) a qualidade da água, para o parâmetro de coliformes totais, que está no entorno do lixão, foi identificada a presença de coliformes em 50% dos pontos estudados. As autoras discutem que a presença de coliformes em períodos chuvosos facilita com que se tenha infiltração nos lençóis freáticos e contaminam os recursos subterrâneos, além de que durante as fortes chuvas, ocorre o processo de “lixiviação” que é a lavagem do solo, onde é possível que a água percole com mais facilidade e possa atingir as águas subterrâneas.

Visto que o poço artesiano que abastece parte da população do Povoado Timbuba não é impermeabilizado, assim, permitindo a vulnerabilidade em que a água está exposta à presença bactérias e outros contaminantes. Ressalta-se que devido a origem de coliformes totais estar ligada às fezes humanas e de animais, assim podendo não estar associada à presença da decomposição de resíduos sólidos.

Quanto ao parâmetro de Coliformes Totais houve presença, o que denota a presença de bactérias que podem causar, segundo Pinto, Roma e Balieiro (2012), febres, diarreias, cólicas, vômitos, náuseas, colite hemorrágica, além de ocasionar doenças renais.

Quanto à presença de *e.colli* na amostra de água do poço tubular, fora detectada presença, assim, confirmando que há bactérias presentes na água. Pinheiro e Mochel (2018) relatam que no estudo que realizaram, houve presença de *e.colli* em exatamente 100% dos pontos analisados.

A presença de *e.colli* está diretamente associada a contaminação do recurso hídrico, limitando-o para uso potável. A decomposição dos resíduos sólidos que ocorre no lixão pode ser fator agravante para a presença de *e.coli*, todavia, a fossa séptica que está próxima ao poço não possui impermeabilização adequada.

A ausência de impermeabilização do poço tubular e da fossa séptica, é fator determinando para alterar a qualidade da água, em se tratando do parâmetro *e.coli*, uma vez que a infiltração da água ocorre com maior facilidade. A presença de *e.coli* na água torna vulnerável a saúde da população, visto que tal recurso é ingerido para consumo. As análises bacteriológicas evidenciaram que o poço artesiano recebe contaminantes que podem ter origem no lixão ou em outras fontes.

Mercurio (Hg)

O metal pesado mercúrio (Hg) foi detectado na amostra de água do poço estudado e a detecção ultrapassou o valor máximo permitido (VMP) que é regido pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, obtendo um valor de 2,39 mg/L na amostra de água analisada.

Na pesquisa realizada por Nakamura *et. al.*, (2014) foi identificado teores elevados de mercúrio que variavam entre 0,9 mg/L a 4,0 mg/L, que evidencia a desconformidade com os padrões máximos que a legislação determina. Os pesquisadores relataram o fato de a área estar contaminada devido à presença de resíduos que se decompõem próximo as fontes de águas subterrâneas (poços tubulares) estudadas.

Em estudo conduzido por Santos (2008) em uma área de influência de um lixão, os teores de mercúrio foram encontrados em concentrações baixas, o que evidencia que os valores dos resultados se encontravam dentro do valor máximo permitido pela legislação utilizada no período do estudo. Contudo, o pesquisador sugeriu que fosse realizado um novo estudo com mais precisão de pontos amostrais e repetição de coletas, para a detecção de outros metais, uma vez que nas proximidades há presença de um lixão (que fora objeto do estudo).

Quanto ao teor de mercúrio encontrado no lixão da área de estudo (Lixão do Timbuba/Pau-Deitado) foi identificado 2,39 mg/L de mercúrio, o que evidencia que a água esteja contaminada. Junto a isso, em um estudo executado por Pinheiro e Mochel (2018) em uma área inadequada de depósito de resíduos sólidos, também foram encontrados teores de mercúrio fora dos padrões de potabilidade em todos os pontos analisados (P01, P02, P03 e P04).

Corroborando Pinheiro e Mochel (2018), durante um estudo realizado por Araújo (2019) foram identificados teores de mercúrio (Hg) nos pontos analisados e, logo, fora notado que tanto no período seco, quanto no período de cheia, o resultado para mercúrio esteve em conformidade com a Portaria que regia valores de potabilidade.

Ainda segundo Araújo (2019) os valores encontrados para mercúrio (Hg) foram de 0,0002 mg/L no corpo hídrico estudado, enquanto a Portaria do Ministério da Saúde estabelecia 0,001 mg/L, sendo assim, não foi comprovado que o mercúrio está contaminando o corpo hídrico.

No entanto, a pesquisadora Araújo (2019) destacou que o mercúrio é oriundo de resíduos como: pilhas, baterias de relógio, termômetros, lâmpadas fluorescentes, tintas e fungicidas. Junto a isso, como consequência para os seres vivos que possuem contato direto com o mercúrio, podem sofrer com: bronquite, salivação excessiva, alucinações, perda de memória, confusão mental, edema pulmonar, dentre outras complicações na saúde.

pH e Turbidez

Segundo Tedesco, Oliveira e Trojan (2021) o pH da água pode variar dependendo da concentração de metais, sais, temperatura e substâncias orgânicas, e pode influenciar a diversos equilíbrios químicos. O pH é um parâmetro fundamental em estudos científicos para determinar a qualidade da água para a saúde da população, além de servir como parâmetro determinante para o lançamento de efluentes.

Em se tratando do pH da água do poço artesiano que está localizado na área de influência do lixão, o pH apresentou resultado de 5,4, tal resultado obtido se encontra abaixo da faixa determinada (pH 6 a 9) pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. O resultado do pH classifica-o como ácido, tal fato está associado ao baixo teor de cálcio (MONDELLI, GIACHETTI E HAMADA, 2016).

Em estudo realizado por Pinheiro e Mochel (2018) todos os pontos de análise se mantiveram com pH dentro da faixa estabelecida pela legislação utilizada pelas autoras. Junto a isso, Gonçalves *et al.*, (2018) realizou uma pesquisa quanto às águas subterrâneas próximas a um lixão e, portanto, os valores de pH também estiveram dentro da faixa estabelecida pela resolução que determina padrões de potabilidade. Em estudo sobre a qualidade da água subterrânea próxima de um depósito de resíduos, realizado por Nakamura *et al.*, (2014) os valores de pH mantiveram-se dentro da faixa aceitável pela resolução.

Os valores de pH estão associados a causas naturais, como: dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, fatores antropogênicos (lançamento de efluentes e incorreta disposição de resíduos sólidos), oxidação da matéria orgânica e fotossíntese da flora (VON SPERLING, 2005).

Referente à análise da qualidade da água do poço próximo da área de estudo, o pH pode estar alterado devido às características naturais da localização geográfica da área (LOPES E MAGALHÃES JÚNIOR, 2010). Todavia o é fundamental se ter atenção

quanto a acidez do pH em águas para abastecimento humano, uma vez que a acidez do pH pode provocar sintomas, como: falta de ar, palpitações, sonolência e vômitos.

Em se tratando da turbidez, verificou-se que o resultado do referido parâmetro esteve também em desconformidade com a legislação vigente para potabilidade das águas brasileiras, apresentando um valor de 7,0 NTU. Tal fato está relacionado à presença de “turvação”, fora do estabelecido, na água consumida pela população do povoado estudado.

Em estudo realizado por Beck *et. al.*, (2010), onde visou monitorar a qualidade das águas subterrâneas próximas a um lixão desativado, a turbidez apresentou em todas as análises resultados superiores ao permitido pela Portaria da Potabilidade do ano em que o estudo fora realizado.

Ainda de acordo com Beck *et. al.*, (2010) os valores superiores de pH e turbidez determinados pela legislação, podem estar ligados ao comportamento natural do local e pode ser explicado através da interação físico-química da barreira do solo. No entanto, também pode ser oriundo da decomposição de resíduos sólidos, já que tal desmaterialização dos resíduos gera chorume e o mesmo tende a percolar pelo lençol freático até atingir o recurso hídrico subterrâneo.

Demais parâmetros analisados

Quanto aos demais parâmetros analisados, todos se mantiveram dentro do valor máximo permitido (VMP) que é estabelecido pela Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021, publicada pelo Ministério da Saúde do Brasil. Tal fato pode estar associado a ausência de fato dos contaminantes ou às características geoquímicas e geológicas da área em que foi realizado o estudo, no entanto, não se deve descartar estudos futuros voltados à qualidade da água subterrânea (BECK *et. al.*, 2010).

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos durante esta pesquisa de mestrado, conclui-se que:

O local em que fora feita a destinação final dos resíduos sólidos (Lixão do Timbuba/Pau-Deitado) se encontra fora dos critérios para tal atividade, uma vez que na região há atributos ambientais de grande valor que precisam ser preservados. Além disso, a vulnerabilidade gerada pelos aspectos físicos do solo pode facilitar a infiltração de metais pesados para as águas subterrâneas, visto que os solos arenosos possuem elevado potencial para lixiviação de poluentes e, por isso, não se tornam adequados para a construção de aterros.

A declividade da área de estudo é constituída por quatro tipos de relevo: Plano, Suave Ondulado, Ondulado e Forte Ondulado. No entanto, a declividade predominante é com relevo Suave Ondulado, o que facilita a percolação das águas superficiais sobre o terreno. Junto a isso, conclui-se, ainda, que devido a direção do fluxo das águas superficiais, se concentrarem nas regiões Norte, Oeste, Noroeste e Sul, onde os pontos amostrais foram determinados, estes podem estar interligados com a infiltração dos metais pesados no solo, uma vez que o resultado da caracterização sugere que este possui permeabilidade elevada.

Quanto às queimadas na área de influência do lixão, pode-se concluir que após o encerramento do lixão do Timbuba/Pau-deitado, as práticas de queimadas foram aos poucos paralisadas, uma vez que em 2018 (antes do encerramento do lixão) houve presença de focos de queimadas, em 2019 (ano de encerramento do lixão) ocorreram focos de queimadas e, no ano de 2020 (após o encerramento) não foram identificados focos de queimadas. A presença de vegetação moderada que se encontra na área pode ter relação com a redução das queimadas ao longo do tempo, uma vez que com a ausência de queimadas a vegetação está suscetível a se estabelecer na área.

A análise da qualidade do solo permitiu verificar que em todos os pontos analisados houve a presença de metais pesados em desconformidade com a legislação vigente, assim tornando a área potencialmente contaminada. Os resultados do estudo sugerem que a elevada presença de metais pesados detectados no solo pode ser resultante da decomposição dos resíduos sólidos na área.

Quanto a potabilidade da água consumida por parte da população, conclui-se que a mesma se encontra imprópria para consumo humano (abastecimento potável), visto que há presença de metais pesados (alumínio, cádmio e mercúrio), parâmetros

microbiológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) e físicos (pH e turbidez) que estão em desconformidade com a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados e discussões apresentados nesse trabalho recomenda-se que os seguintes pontos sejam considerados:

Realização de monitoramento da qualidade da água e do solo envolvendo os ciclos climáticos;

Ampliação nos pontos de amostragem para solo e água para melhor discussão e exatidão dos resultados;

Análise espaço-temporal da Índice de Vegetação (objetivando analisar a evolução da vegetação na área do lixão);

Monitorar a qualidade do ar no perímetro da área do lixão e na área de influência direta;

Aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA) para melhor compreensão dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2020.** Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2020.pdf>>. Acesso em 05 set. 2021.
- AGEM – AGÊNCIA EXECUTIVA METROPOLITANA DO MARANHÃO. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Grande São Luís/MA.** Prognóstico e Planejamento, v. 2, 2018.
- AKBARI, M. Z.; THEPNUAN, D.; WIRIYA, W.; JANTA, R.; PUNSOMPONG, P.; HEMWAN, P.; CHAROENPNYANET, A.; CHANTARA, S. Emission factors of metals bound with PM_{2.5} and ashes from biomass burning simulated in an open-system combustion chamber for estimation of open burning emissions. **Atmospheric Pollution Research**, v. 12, p. 13-24, 2021.
- ALCÂNTARA, A. J. O.; PIERANGELI, M. A. P.; SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B. Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso. **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, p. 21-32, 2011.
- ALMEIDA, L. S.; COTA, A. L. S.; RODRIGUES, D. F. Sanitation, Arboviruses, and Environmental Determinants of Disease: impacts on urban health. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, v. 25, p. 3857-3868, 2020.
- ALVARES, R. P.; HENKES, J. A. Áreas de Preservação Permanente em Encostas: Delimitação através de dados SRTM. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis/SC, v. 1, n.1, p. 198-254, abr./set. 2012.
- ALVES, S. C. N. **Dinâmica do níquel em plantas de sogro e em solo contaminado por diferentes fontes.** 2018. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista – UNESP.
- AQUINO, C.M.S.; DIAS, A.A.; SANTOS, F.A. Análise temporal do ndvi da bacia hidrográfica do Rio Longá, Piauí. **Revista Formação**, v. 3, n. 23, p. 248-263, 2016.
- ARAÚJO, K. K. S DE. 109 f. **A influência do lixão desativado na qualidade da água do rio Estiva em Marechal Deodoro, Alagoas.** Programa de Pós-Graduação em Geografia (Dissertação de Mestrado). Maceió, Alagoas: Universidade Federal de Alagoas, 2019.
- ARTHUR, C.; BAKER, J.; BAMFORD, H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. **National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30.** 2009
- AZEVEDO, P. B.; LEITE, J. C. A.; OLIVEIRA, W. S. N.; SILVA, F. M. DA.; FERREIRA, P. M. L. Diagnóstico da degradação ambiental na área do lixão de Pombal

– PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 07, n. 02, p. 20-34, 2015.

BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; LAVNITCKI, L.; VILELA, P. B.; DUMINELLI, E. C.; BECEGATO, B. R.; ROBAZZA, W. S.; PAULINO, A. T. Evaluation of soil contamination by heavy metals at public cemeteries in the municipality of Lages, southern Brazil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 06, n. 05, p. 883-891, 2021.

BECK, M. H.; KORF, E. P.; SANTOS, V. R DOS.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Monitoramento das Águas Subterrâneas e Lixiviado do Local de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Passo Fundo – RS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 07, n. 01, p. 26-34, 2010.

BERLANDA, A.; BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; SOUZA, N. C. V. L. Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Desquite, Santa Catarina. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 45-51, 2021.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 16 jul. 2022.

BRASIL. Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 28 jul. 2022.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 14 jul. 2022.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acesso em: 29 jul. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomass**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Conselho do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, DF, 2009.

- BRICALLI, L. L.; QUEIROZ NETO, J. P DE. Caracterização e morfológica e pedológica de uma depressão (Serra-ES-Brasil). **Revista Brasileira Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 02, p. 309-325, 2015.
- CAMBARDELLA, C. A.; TURCO, R. F.; NOVAK, J. M.; MOORMAN, T. B.; KARLEN, D. L; PARKIN, T. B.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 15 p. 1501-1511, 1994.
- CARDOZO, B. C.; MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A. Análise do monitoramento ambiental da incineração de resíduos sólidos urbanos na Europa e a necessidade de alterações na legislação brasileira. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 26, n. 01, p. 123-131, 2021.
- CARMO, C. N DO.; HACON, S. S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Revista de Ciência e Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3245-3258, 2013.
- CARRILHO, A. N.; CÂNDIDO, H. G.; SOUZA, A. D. Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 03, p. 201-206, 2018.
- CARVALHO, M. M.; LIRA, V. S.; WATANABE, C. H.; FRACÁCIO, R. Study of metals toxicity (zinc and cadmium) to *Ceriodaphnia dubia*, for multi-exposition and biological recovery of offspring. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 05, p. 961-968, 2017.
- CASTRO, R. S de.; CRUVINEL, V. R. N.; OLIVEIRA, J. L de. M. Correlação entre qualidade da água e ocorrência de diarreia e hepatite A no Distrito Federal/Brasil. **Revista Saúde Debate**, v. 43, n. 03, p. 08-19, 2019.
- CAVALLET, L. E.; CARVALHO, S. G.; FORTES NETO, P. Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ambiente & Água**, v. 08, n. 03, p. 230-238, 2013.
- CELENTANO, D.; MARTINS, M. B. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. **Revista de Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, p. 315-339, 2016.
- CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; BHERING, S. B. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 01, p. 147-162, 2013.
- CHAGAS, C DA. S.; FONTANA, A.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CAIRES, S. M. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n. 03, p. 1442-1453, 2013.

CLEMENTE, S DOS. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F DE.; LOUZADA, M. A. P. Focos de Calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 04, p. 670-677, 2017.

CLETO, C. I. T. P. **O alumínio na água de consumo humano**. Programa de Pós-Graduação em Química (Dissertação de Mestrado). Colvilhã, Portugal: Universidade da Beira Interior. 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB/GTZ). **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo – SP, 2021: Cooperação Técnica Brasil-Alemanha CETESB/GTZ.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas Subterrâneas: Poluição das Águas**. São Paulo – SP, 2022.

COSTA, J. J. F.; GIASSEN, E.; SILVA, E. B DA.; CAMPOS, A. R.; MACHADO, I. R.; BONFATTI, B. R.; BACIC, I. L. Z. Individualization of soil classes by disaggregation of physiographic map polygons. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 01, p. 02-11, 2019.

ELK, A. G. H. P. V.; D'OLIVEIRA, P. M. Z.; GIORDANO, G.; ANDRADE, R. C. Potencial poluidor da disposição final de resíduos sólidos nas águas da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara – RJ. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 01, p. 195-203 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: Cenário Atual em Dados Geoespaciais**. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FEARNSIDE, P. M. **Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira**. Portal de Revistas da Universidade de São Paulo – Estudos Avançado. vol. 16. 2002. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/eav/issue/view/733>>. Acesso em: 01 ago. 2022.

FERRAZ, L. L. 78 f. **Análise da presença de metais pesados na água em diferentes reservatórios subterrâneos de Vitória da Conquista/BA**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (Dissertação de Mestrado). Vitória da Conquista, Bahia: Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. 218.

FONSECA-MORELLO, T.; RAMOS, R.; STEIL, L.; PARRY, L.; BARLOW, J.; MARKUSSON, N.; FERREIRA, A. Queimadas e incêndios florestais na Amazônia

Brasileira: por que as Políticas Públicas têm efeito limitado? **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 04, p. 19-38, 2017.

FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**, v. 42, n. 03, p. 114-127, 2013.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Digital Terrain Analysis. **Terrain Analysis: Principles and Applications**, John Wiley & Sons, New York, v. 01, p. 1-27, 2000.

GIACOMAZZO, A. P.; ALMEIDA, W. S DE. Estudo do potencial de contaminação do Aterro Controlado do Jôquei Clube, Distrito Federal. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 06, p. 909-920, 2020.

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; ALENCAR, C. M. M.; SANTOS, R. A.; RAMOS JÚNIOR, A. B DA. S. Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 01, p. 159-172, 2018.

HAMADA, J.; CALÇAS, D. A. N. Q. P.; GIACHET, H. L. Influência da compactação de um solo arenoso na infiltração e retenção de carga orgânica de chorume. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 09, n. 03, p. 180-186, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil em Síntese: Território dos biomas brasileiros**. São Paulo. Rio de Janeiro. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama: Cidades**. São Paulo. Rio de Janeiro. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama: Cidades**. São Paulo. Rio de Janeiro. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama: Cidades**. São Paulo. Rio de Janeiro. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de Dados do Programa de Queimadas**. 2022. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

JARDIM, A. C. **Direções de fluxo em Modelos Digitais de Elevação: um método com foco na qualidade da estimativa e processamento de grande volumes de dados**. Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (Tese de Doutorado), São Paulo, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2017.

JESUS, J. B DE.; KUPLICK, T. M. Utilização de imagens SAR na classificação de formações florestais brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência Florestal**, v. 31, n. 03, p. 1547-1568, 2021.

JESUS, J. B DE.; ROSA, C. N DA.; BARRETO, I. D. C.; FERNANDES, M. M. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Revista de Ciência Florestal**, v. 30, n. 01, p. 176-191, 2020.

JESUS, L. D. F.; MOREIRA, M de. R. M.; AZEVEDO, S. V de.; BORGES, R. M.; TEIXEIRA, L. R. Avaliação dos níveis de chumbo e mercúrio em população exposta ambientalmente na Região Centro-oeste do Brasil, **Caderno de Saúde Pública**, v. 34, n. 02, p. 01-13, 2018.

JORNAL IMIRANTE. **Município de São José de Ribamar é condenado por danos ambientais**. Notícia: Meio Ambiente. 2019. Disponível em: <<https://imirante.com/noticias/meio-ambiente>>. Acesso em 18 jul. 2022.

KEMENES, A. Distribuição espacial da flora terrestre fanerogâmica do Parque Nacional Marinho de Abrolhos, BA. **Brazilian Journal of Botany**, v. 26, n. 02, p. 141-150, 2013.

LEÃO, R. S.; FERREIRA, G DA. S.; STRAUCH, J. C. M. Análise do espaço-temporal dos focos de queimadas e incêndios em Mato Grosso, Brasil. **Revista RAOEGA**, v. 41, n. 01, p. 99-119, 2020.

LIMA, A. A DE.; BARROS, A. C.; TAGLIARINI, F. S. N.; BARROS, Z. X. Correção atmosférica de imagens do Landsat 8 para análise comparativa de influência no cálculo de NDVI e SAVI. **Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**. 2017.

LIMA, A. N. **Análise do monitoramento da contaminação ambiental do solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropédica**. Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). 2015.

LIMA, C. P. L.; FRANÇA, F.; JESUS, T. B DE. Avaliação dos níveis de metais pesados no pantanal dos Marimbus, Bahia, Brasil. 2018. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 03, p. 591-598, 2018.

LIMA, G. P.; LACERDA, D. M. A.; LIMA, H. P.; JÚNIOR ALMEIDA, E. B. Caracterização fisionômica da Restinga da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar, Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 05, p. 1012-1019, 2018.

LIMA, R. P.; ELMIRO, M. A. T.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; FONSECA, B. M.; CASTIGLIONE, L. H. G. Assessment of digital terrain models in dam break simulation studies. **Bulletim of Geodetic Sciences**, v. 27, n. 01, p. 01-20, 2021.

LIMA, S. D DE.; OLIVEIRA, A. F DE.; GOLIN, R.; CAIXETA, D. S.; LIMA, Z. M de.; MORAIS, E. B DE. Management of contaminated areas by gas stations in Cuiabá, Mato Grosso, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v.12, n. 02, p. 299-315, 2017.

LISK, D. J. **Environmental effects of landfills**. 1991. The Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 100, p. 415- 468,

LOPES, F. W DE. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)** v. 01, n. 03, p. 71-79, 2010.

MACHADO, M. A.; PINHEIRO, C. U. B. Da água doce à água salgada: mudanças na vegetação de igapó em margens de lagos, rios e canais no baixo curso do rio Pindaré, Baixada Maranhense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 06, p. 541-552, 2016.

MARQUES, R. F DE. P. V. **Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais.** Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas (Dissertação de Mestrado). Lavras, Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2011.

MARTINS, H. L.; PANARELLI, E. A.; BORGES, J. S.; MILLAN, R. N. Represamento de veredas e conhecimento sobre a estrutura física de reservatórios rasos para mitigar impacto ambiental urbano. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 03, p. 625-632, 2022.

MATIAS, G. A.; SOBRINHO, M. A da. M. Tratamento e refuncionalização de solo contaminado por lixiviado de aterro sanitário. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 25, n. 05, p. 312-320, 2020.

MATOS, M. V. B DE. **Estudo do processo de revegetação do aterro sanitário metropolitano oeste de Caucaia – ASMOC.** Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (Dissertação de Mestrado). Fortaleza, Ceará: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. 2016.

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL (MPE) – Ação Civil Pública. 5739-73.2015.8.10.0001 (62462015): **Decisão Concessiva de Tutela Antecipada.** São Luís/MA, 22. jul. 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS) – Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM), **Vigilância da qualidade de água para consumo humano (Vigiagua). Relatório das atividades vigiagua** 1998 a 2005. 2005

MONDELLI, G.; GIACHETI, H. L.; HAMADA, G. Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 01, p. 169-182, 2016.

MONTAVANI, A. **Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais.** Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (Tese de Doutorado). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 20, n. 03, p. 111-124. 2008.

MUZAMMIL, S.; SIDDIQUE, M. H.; MUREED, F.; ANDLEEB, R.; JABEEN, F.; WASEEM, M.; ZAFAR, S.; REHMAN, H. F.; ALI, T.; ASHRAF, A. Assessment of cadmium tolerance and biosorptive potential of *Bacillus Cereus* GCFSD01 isolated from cadmium contaminated soil. **Brazilian Journal of Biology**, v.81, n. 02, p. 398-405, 2021.

NAKAMURA, C. Y.; MARQUES, E.; VILELA, P.; ODA, T.; LIMA, L.; COSTA, R.; AZEVEDO, I. C. Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 02, p. 28-40, 2014.

OLIVEIRA, B. O. S DE.; TUCCI, C. A. F. NEVES JÚNIOR, A. F. SANTOS, A. A DE. Soil and water assessment in the areas of influence of urban solid waste disposal of Humaitá, Amazonas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n.03, p. 593-601, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – (ONU). **ONU News: Perspectiva Global Reportagens Humanas**. 2019. Disponível em: < <https://news.un.org/pt/>>. Acesso em 22 jul. 2022.

OTERGA, J. C. B.; BENDEZU, M. A. L.; SAVIO, A. A. D.; CANALES, F. A. Effect of lithological and geotechnical characteristics on the generation of debris flows in the arid basin of Mirave, Peru. **Revista Ambiente e Água**, v. 17, n. 02, p. 01-18, 2022.

PASSOS, A. O DE. **Índices de reflectância, NDVI e EVI como indicadores de degradação das pastagens tropicais**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Tese de Doutorado), São Paulo, São Paulo: Universidade do Estado de São Paulo (UNESP). 2021.

PEIXOTO, F. SILVA DA. Risco de contaminação da água subterrânea em uma sub-bacia urbana. **Revista Mercator**, v. 19, n. 01, p. 01-20, 2020.

PEREIRA, A. C. G; GOMES, R. R; JANSEN, A. C. M. **As condições de precariedade dos catadores de lixo do lixão do bairro Timbuba em são José de Ribamar-MA**. 64ª Reunião Anual da SBPC, 2012.

PÉREZ, J. I. J. Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. **Revista Acta Universitaria**, v.27, n. 03, p. 36-56, 2017.

PINHEIRO, N. C. A.; MOCHEL, F. R. Diagnóstico de áreas contaminadas pela disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar (MA). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 03, p. 1173-1184, 2018.

RAMOS, N. F., GOMES, J. C., CASTILHO JÚNIOR, A. B., GOURDON, R. Development of tool for environmental assessment of municipal solid waste dumps in Brazil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 06, p. 1233-1241, 2017.

REIS, C. S.; CONCEIÇÃO, M. DA. Aspectos Florísticos de um Fragmento de Vegetação, localizado no Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Revista Scientia Plena**, v. 06, n. 02, p. 01-17, 2010.

RIBEIRO, D.V.; MORELLI, M.R. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

RINKU VERMA, K. S.; VINODA, M.; PAPIREDDY, A. N. S. Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. **Procedia Environmental Sciences**, v.35, p. 701-708. 2016.

RIZZATI, M.; BATISTA, N. L.; SPODE, P. L. C.; ERTHAL, D. B.; FARIA, R. M DE.; SCOTTI, A. A. V.; TRENTIN, R.; PETSCH, C.; COSTA, I. T.; QUOOS, J. H. Mapeamento da COVID-19 por meio da densidade de Kernel. **Revista de Metodologias e Aprendizado**, v.3, p. 44-53, 2020.

ROCHA, T. M. **Determinação das concentrações dos metais cádmio, chumbo e mercúrio na área do lixão desativado de Buriticupu, MA.** (Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). 2016.

RODRIGUES, C. L. **Influência da disposição de resíduos sólidos domésticos e infiltração do chorume na região do lixão de Ilhabela – SP.** Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrologia (Dissertação de Mestrado). São Paulo, São Paulo: Universidade de São Paulo (USP). 2022.

RODRIGUES, S. F.; VAZQUEZ, G. H., MORAIS, J. S. Substituição de lâmpadas fluorescentes por light emitting diode (LED) em uma instituição de ensino: preocupação ambiental, energética e econômica. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 04, p. 799-808, 2019.

RODY, Y. P.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, A. S DE.; LEITE, F. P. Modeling and simulation of relief influence on eucalyptus forests: interaction between solar irradiance and productivity. **Revista Árvore**, v. 40, n. 02, p. 319-327, 2016.

ROLIM FILHO, C. M.; ANDRADA, A. F. L. **Formação Econômica do Maranhão: de Província Próspera a Estado mais pobre da Federação. O que deu tão errado?** Programa de Pós-Graduação em Economia do Setor Público (Dissertação de Mestrado). Brasília, Distrito Federal: Universidade de Brasília (UnB). 2016.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá – MA.** Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (Dissertação de Mestrado). Cuiabá, Mato Grosso: Universidade Federal de Mato Grosso. 2008.

SANTOS, F. A.; OLIVEIRA, W. A. S. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para avaliação da cobertura vegetal no entorno do açude Caldeirão, em Piripiri (PI), Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 04, n. 02, p. 114-127. 2015.

SANTOS, H. G DOS.; ZARONI, M. J. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)**. 2017.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Ed. Oficina de Textos. ISBN 978-85-86238-79-6. São Paulo – SP, 2008.

SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão. **Unidades de Conservação Estaduais do Maranhão**. SEMA: 2016. Disponível em <<https://www.sema.ma.gov.br/unidades-de-conservacao/>>. Acessado: em 23 de junho de 2022.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM) - **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2018.

SILVA, E. M.; CARVALHO, H. C. M.; SILVA, L. L DA.; BARBOSA, W. A. Registros de Queimadas em Vegetação (Incêndios) e a Climatologia da Chuvas no Estado do Ceará: Estudo de Caso no Período de 2015 a 2019. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 03, p. 571-577, 2021.

SILVA, R. R.; SIQUEIRA, E. Q.; NOGUEIRA, I. S. Environmental impacts of dairy effluent on waterway in the Pomba River Basin. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 02, p. 217-228. 2018.

SILVA, R. S. B.; SOUSA de, A. M. L.; SODRÉ, S. S. V.; VITORINO, M. I. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 12, p. 01-17, 2018.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA (SELURB). **Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana**. 2022. Disponível em: <<https://selur.org.br/selurb/>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

SOUZA, D. C.; SOUZA, L. R.; COUTO, E. V.; CAXAMBÚ, M. G.; PERON, A. P. Effect of slope on the forest structure of the Atlantic Forest domain in southern Brazil. **Brazilian Journal Biology**, vol. 84, p. 01-08, 2022.

SOUZA, D. F DE.; GONZALEZ, G. D. D.; TEIXEIRA FILHO, J. **Temporal variation of the normalized difference vegetation index as a tool identification tool in the ribeirão das cabras hydrographic basin**. 2019. *Revista Cerrados*, v. 17, n. 01, p. 222-239, 2019.

STROBEL, R.; WALDNER, M. H.; GABLINGER, H. Highly efficient combustion with low excess air in a modern energy-from-waste (EfW) plant. **Waste Management**, v. 73, p. 301-306, 2018.

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 03, p. 401-407, 2021.

TOMIJENOVIC, L. Aluminum and Alzheimer's Disease: After a Century of Controversy, J. **Alzheimers Disease**, 23(4), pp.567-598, 2011.

TROYACK, I. B.; MUHLEN, C.; VASQUES, G. M.; WENCESLAU, G. T. Estimativa do número de amostras de solo para caracterizar elementos químicos utilizando fluorescência de raios X portátil em áreas contaminadas: estudo de caso em Resende. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 05, p. 893-901, 2021.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. 2016. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 02, p. 295-308, 2016.

VALDETARO, E. B. **Métodos estatísticos e sistema neuro-fuzzy aplicado na avaliação de impactos ambientais**. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal (Tese de Doutorado). Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

VIANA, D. C. **Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados como uso de dados GNSS RTK**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Dissertação de Mestrado). Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa. 2017

VIANA, J. L.; SILVA, J. S.; VIEIRA NETA, M. R. A.; TADEI, W. P.; OLIVEIRA, C. D.; ABDALLA, F. C.; PEIXOTO, C. A.; PINHEIRO, V. C. S. Isolates of *Bacillus thuringiensis* from Maranhão biomes with potential insecticidal action against *Aedes aegypti* larvae (Diptera, Culicidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n 01, p. 114-124, 2021.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T de. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 02, p. 219-228, 2019.

ZANZARINI, F. V.; PISSARA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. B. D. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 17, n. 06, p. 608-614, 2013.

ANEXO

Figura 1 – Resíduos disposto no perímetro do lixão



Fonte: Autor (2022).

Figura 2 – Ponto de descarte irregular de resíduos



Fonte: Autor (2022).

Figura 3 – Ponto de queimada de resíduos sólidos



Fonte: Autor (2022).

Figura 4 – Resíduos sólidos entulhados/enterrados



Fonte: Autor (2022).

Figura 5 – Ponto de descarte de resíduos sólidos



Fonte: Autor (2022).

Figura 6 – Resíduos de construção civil



Fonte: Autor (2022).

Figura 07 – Coleta de amostra do solo



Fonte: Autor (2022).

Figura 08 – Coleta de amostra do solo



Fonte: Autor (2022).

Figura 09 – Resíduos domésticos (lâmpadas, baterias e pilhas)



Fonte: Autor (2022).

Figura 10 – Ponto de descarte e queima de resíduos



Fonte: Autor (2022).